



TUGAS AKHIR - TF 145565

**RANCANG BANGUN SISTEM
PENGENDALIAN SUHU *CONDENSER* PADA
PLANT FLUIDIZED BED REACTOR
PENGOLAHAN *OIL SLUDGE***

Aloys Yantri Martina
NRP 2414 031 047

Dosen Pembimbing
Hendra Cordova, S.T., M.T.
NIP. 19690530 199412 1 001

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK INSTRUMENTASI
DEPARTEMEN TEKNIK INSTRUMENTASI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TUGAS AKHIR TF-145565

**RANCANG BANGUN SISTEM
PENGENDALIAN SUHU *CONDENSER* PADA
PLANT FLUIDIZED BED REACTOR
PENGOLAHAN *OIL SLUDGE***

Aloys Yantri Martina
NRP 2414 031 047

Dosen Pembimbing
Hendra Cordova, S.T., M.T.
NIP. 19690530 199412 1 001

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK INSTRUMENTASI
DEPARTEMEN TEKNIK INSTRUMENTASI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



FINAL PROJECT TF-145565

***DESIGN OF TEMPERATURE CONTROL SYSTEM OF
CONDENSER AT PLANT FLUIDIZED BED REACTOR
OF OIL SLUDGE PROCESSING***

Aloys Yantri Martina
NRP 2414.031.047

Supervisor
Hendra Cordova, ST.MT
NIP. 19690530 199412 1 001

*STUDY PROGRAM OF D3 METROLOGY AND
INSTRUMENTATION
DEPARTMENT OF ENGINEERING INSTRUMENTATION
FACULTY OF VOCATION
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017*

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN
SUHU PADA *CONDENSER PLANT FLUIDIZED
BED REACTOR* PENGOLAHAN *OIL SLUDGE***

TUGAS AKHIR

Oleh :

Aloys Yantri Martina
NRP. 2414 031 047

Surabaya, 26 Juli 2017

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing**



Hendra Cordova, S.T., M.T.
NIP. 19690530 199412 1 001

**Mengetahui,
Kepala Departemen
Teknik Instrumentasi FV-ITS,**



Dr. Ir. Purwadi Agus D, M.Sc.
NIP. 19620822 198803 1 001





**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN SUHU
PADA CONDENSER PLANT FLUIDIZED BED REACTOR
PENGOLAHAN OIL SLUDGE**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Program Studi D3 Metrologi dan Instrumensi
Departemen Teknik Instrumentasi
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Aloys Yantri Martina
NRP. 2414 031 047

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Hendra Cordova, S.T., M.T.  (Pembimbing I)
2. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.  (Ketua Penguji)
3. Gunawan Adi N, S.T., M.T., Ph.D.  (Penguji I)
4. Murry Raditya, S.T., M.T.  (Penguji II)

**SURABAYA
JULI 2017**

RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN SUHU CONDENSER PADA *PLANT FLUIDIZED BED REACTOR* PENGOLAHAN *OIL SLUDGE*

Nama Mahasiswa : Aloys Yantri Martina
NRP : 2413 031 047
Jurusan : Teknik Instrumentasi FV-ITS
Dosen Pembimbing : Hendra Cordova, ST. MT

Abstrak

Telah dibuat sebuah rancang bangun sistem pengendalian suhu pada *condenser plant fluidized bed reactor* pengolahan oil sludge dengan menggunakan sensor termokopel tipe k, pengkondisian sinyal MAX6675, motor servo MG996R sebagai aktuator, mikrokontroler Atmega 32. Hasil pengukuran ditampilkan dengan menggunakan LCD 16x2 dan software Visual Studio 2015. Pengendalian suhu pada *condenser* ini perlu dilakukan agar perpindahan panas antar uap minyak dan air pendingin dapat berlangsung secara efisien. Aktuator yang dikendalikan adalah posisi bukaan *valve* yang digerakkan oleh *servo* untuk mengatur debit air pendingin yang akan dialirkan pada ruang *annulus* sehingga suhu *steam* pada *tube condenser* terjaga suhunya sesuai dengan *set point* yang telah ditentukan dan uap minyak dapat terkondensasi menjadi kondensat yaitu minyak mentah. Sensor yang digunakan telah dilakukan uji sensor dengan pembanding alat standard *Rotronic HygroPalm*. Berdasarkan uji sensor tersebut didapatkan hasil kalibrasi dengan nilai ketidakpastian sebesar $\pm 1,5358$ dengan tingkat kepercayaan 87,7%. Respon sistem pengendalian suhu pada *condenser* ini pada setpoint 70°C memiliki settling time sebesar 1 menit 30 detik, maksimum overshoot 0,78°C dan error steady state rata-rata 0,459°C.

Kata kunci: *Condenser, Suhu, Termokopel*

DESIGN OF TEMPERATURE CONTROL SYSTEM OF CONDENSER AT PLANT FLUIDIZED BED REACTOR OF OIL SLUDGE PROCESSING

Name : Aloys Yantri Martina
NRP : 2414 031 047
Department : Engineering Instrumentation FV-ITS
Supervisor : Hendra Cordova, ST.MT

Abstract

A temperature control system design has been developed in condenser plant fluidized bed reactor oil sludge processing using k type thermocouple sensor, MAX6675 signal conditioning, MG996R servo motor as actuator, Atmega 32 microcontroller. The measurement result is displayed using 16x2 LCD and Visual Studio 2015. The temperature control of the condenser is necessary so that the heat transfer between the steam of oil and cooling water can proceed efficiently. The controlled actuator is the servo-driven valve opening position to adjust the cooling water discharge to be drained in the annulus chamber so that the steam temperature of the condenser tube is maintained at a set point and oil vapor can condense to a crude oil condensate. Sensors used have been tested with the standard sensor sensor Rotronic HygroPalm. Based on the sensor test obtained calibration results with an uncertainty value of ± 1.5358 with a trust level of 87.7%. Response of temperature control system at this condenser at setpoint 70°C has settling time 1 minute 30 seconds, maximum overshoot 0,78°C and error steady state average 0.459°C.

Keywords : Condenser, Temperature, Thermocouple

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Rancang Bangun Sistem Pengendalian Suhu Condenser Pada Plant Fluidized Bed Reactor Pengolahan Oil Sludge**”.

Selama penyusunan tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan dorongan, bantuan dan petunjuk dari semua pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Keluarga saya atas dukungan moral dan materi kepada saya.
2. Bapak Dr. Ir Purwadi Agus Darwaito, Msc. Selaku Ketua Departemen Teknik Instrumentasi.
3. Bapak Hendra Cordova, ST.MT selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan motivasi, bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D, selaku pembimbing informal yang membimbing teknis pembuatan plant ini.
5. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu selama kuliah.
6. Seluruh Staff Jurusan Teknik Fisika yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
7. Teman-teman seperjuangan dalam mengerjakan Tugas Akhir *Team Plant Fluidized Bed Reactor Pengolahan Oil Sludge* (Putri Merlisa W, Agung Marhamsyah), serta teman-teman angkatan F49 yang selalu memotivasi penulis.
8. Seluruh Asisten Laboratorium Microprocessor and Microcontroller, Workshop Instrumentasi, Laboratorium Instrumentasi dan Kontrol, Laboratorium Pengukuran Fisis, dan Sahabat Zelena yang telah membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir penulis.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini masih belum sempurna. Oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang konstruktif dari para pembaca, sebagai media

perbaikan dan pengembangan penulisan di masa mendatang. Semoga laporan ini dapat memberikan sumbangsih perkembangan IPTEK bagi almamater ITS pada khususnya, dan bermanfaat bagi seluruh pembaca pada umumnya.

Surabaya, 20 Juni 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL	i
<i>TITLE OF PAGE</i>	ii
LEMBAR PENGESAHAN I	iii
LEMBAR PENGESAHAN II	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Laporan	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 <i>Oil Sludge</i>	5
2.2 <i>Fluidized Bed Reactor</i>	6
2.3 <i>Heat Exchanger</i>	7
2.4 <i>Condenser</i>	8
2.5 <i>Temperature</i> (Suhu).....	8
2.6 Sensor Termokopel Tipe K.....	9
2.7 MAX6675	10
2.8 <i>Ball Valve</i>	13
2.9 <i>Motor Servo</i>	14
2.10 Pompa	15
2.11 Mikrokontroler.....	15
2.12 Mikrokontroler ATmega32	15
2.13 <i>Liquid Crystal Display</i> (LCD)	19

2.14 <i>Software Code Vision AVR</i>	21
2.15 Sistem Pengendalian Proses	21
2.16 Teori Ketidakpastian	25

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Diagram Alir (<i>Flowchart</i>).....	31
3.2 Keterangan <i>Flowchart</i>	32

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Analisis Data.....	41
4.2 Pembahasan	55

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran	59

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A (*LISTING PROGRAM PADA CODE VISION AVR*)

LAMPIRAN B (*DATA SHEET*)

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1	<i>Oil Sludge</i>5
Gambar 2.2	<i>Fluidized Bed Reactor</i>7
Gambar 2.3	<i>Double Pipe Heat Exchanger</i>7
Gambar 2.4	Jenis <i>Thermocouple</i> Berdasarkan Warna9
Gambar 2.5	Termokopel Tipe-K10
Gambar 2.6	Blok Diagram MAX667511
Gambar 2.7	<i>Schematic</i> rangkaian MAX667512
Gambar 2.8	<i>Ball Valve</i>13
Gambar 2.9	Komponen <i>Motor Servo</i>14
Gambar 2.10	<i>Motor Servo Toward Pro MG996R</i>14
Gambar 2.11	<i>Flash Program Memory and Data Memory</i>17
Gambar 2.12	Susunan Pin Atmega3217
Gambar 2.13	Arsitektur Mikrokontroler Atmega3218
Gambar 2.14	<i>Liquid Crystal Display</i>20
Gambar 2.15	Diagram Blok Sistem Pengendalian Otomatis ..22
Gambar 2.16	Diagram Alir Penentuan Ketidakpastian Baku ..25
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Tugas Akhir31
Gambar 3.2	<i>P&ID Plant Fluidized Bed Reactor</i>33
Gambar 3.3	<i>P&ID Condenser</i>33
Gambar 3.4	Diagram Sistem Pengendalian Suhu 34
Gambar 3.5	Rangkaian MAX667535
Gambar 3.6	Rangkaian Skematik LCD dan Mikrokontroler ATmega3236
Gambar 3.7	Penempatan LCD untuk <i>Display</i> Suhu37
Gambar 3.8	<i>Ball Valve</i> Dikopel Dengan Servo MG99637
Gambar 3.9	<i>Software CodeVision AVR</i>38
Gambar 3.10	Desain <i>Software</i> dengan Visual Studio 201539
Gambar 4.1	<i>P&ID Plant Fluidized Bed Reactor</i>41
Gambar 4.2	<i>P&ID Condensor</i>42
Gambar 4.3	Pemasangan <i>Control Valve</i>42
Gambar 4.4	Tampilan LCD pengukuran suhu <i>condenser</i>43
Gambar 4.5	Pemasangan Sensor Termokopel43
Gambar 4.6	<i>Display</i> Pembacaan dengan Visual Studio44

Gambar 4.8	Grafik Histerisis.....	48
Gambar 4.9	Grafik respon <i>open loop</i>	53
Gambar 4.10	Grafik respon sistem dengan <i>setpoint</i> 70°C.....	54
Gambar 4.7	Grafik <i>tracking setpoint</i>	55

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1	Kandungan <i>Oil Sludge</i> Pertamina.....6
Tabel 2.2	Spesifikasi Modul MAX667511
Tabel 2.3	Koneksi Pin Port Paralel dan Atmega32.....19
Tabel 2.4	Deskripsi Pin Pada LCD20
Tabel 2.5	<i>T-Student Distribution</i>30
Tabel 4.1	Data Pengujian Alat Ukur Suhu.....45
Tabel 4.2	Data Pengujian Naik dan Turun Sensor Termokopel Tipe K.....46
Tabel 4.3	Data Kalibrasi49
Tabel 4.4	Nilai respon <i>tracking setpoint</i>55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan energi yang besar, khususnya minyak dan gas menyebabkan perusahaan-perusahaan industri sektor migas meningkatkan aktifitas eksplorasi dan produksinya dalam skala besar. Dampak dari peningkatan produksi adalah dihasilkan limbah berupa *oil sludge*. *Oil sludge* merupakan limbah padat yang mengandung komponen-komponen residu atau kotoran yang ada pada minyak mentah, titik didihnya tinggi, sebagian minyaknya adalah minyak fraksi berat dan jenis hidrokarbon aromatik serta mengandung beberapa jenis logam berat (PPPTMGB “LEMIGAS”,1999). Menurut PP 18/1999 jo PP 85/1999, *oil sludge* digolongkan kedalam limbah B3 (Bahan Beracun dan Berbahaya) sehingga harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang. Sementara itu, limbah *oil sludge* ini di beberapa perusahaan migas masih kurang dikelola dengan baik dan benar serta kurang mengikuti ketentuan berlaku, bahkan di beberapa tempat *oil sludge* tersebut langsung ditimbun ke dalam tanah tanpa melalui proses pengujian laboratorium dan tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu sesuai ketentuan yang berlaku. Timbunan limbah *oil sludge* ini jika dibiarkan sangat dimungkinkan menimbulkan terjadinya pencemaran lingkungan, yaitu terhadap air tanah, air permukaan dan kehidupan yang terkait dengan ketiga media tersebut. Oleh karena itu diperlukan teknologi pengolahan limbah *oil sludge* yang bersifat ramah lingkungan untuk mencegah terjadinya pencemaran lingkungan.

Pada tugas akhir ini dirancang suatu teknologi pengolahan limbah *oil sludge* yang bersifat ramah lingkungan yaitu *Fluidized Bed Reactor*. Pada *plant fluidized bed reactor* ini terdiri atas tangki pemanas, reaktor dan *condenser*. Prinsip kerja dari plant ini adalah dengan mengubah sifat suatu padatan (*bed*) dalam suatu reaktor menjadi bersifat seperti fluida dikarenakan adanya aliran fluida ke dalamnya. *Steam* yang diperoleh dari tangki pemanas akan memanaskan *sludge* yang terdapat pada reaktor

yang bertujuan untuk memisahkan minyak dari sludge. Campuran uap (air dan minyak) yang terbentuk dalam reaktor ini akan diteruskan ke dalam kondensor yang kemudian akan di kondensasikan agar berubah fasa dari uap menjadi cairan yaitu minyak mentah dan air. Untuk proses kondensasi tersebut diperlukan pengendalian *suhu* pada *condenser* untuk membantu mempercepat perpindahan fasa dari uap (mengandung minyak) menjadi cair (minyak mentah). Oleh karena itu, dibuat tugas akhir dengan judul “RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN SUHU PADA *CONDENSER PLANT FLUIDIZED BED REACTOR* PENGOLAHAN *OIL SLUDGE*”.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan diatas, maka rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana cara merancang dan membuat sistem pengendalian suhu pada *condenser plant fluidized bed reactor* ?
2. Bagaimana hasil performansi sistem pengendalian suhu pada *condenser plant fluidized bed reactor*?
3. Bagaimana mengintegrasikan mikrokontroller ATmega 32, sensor suhu termokopel, control valve, dan LCD 20x4 dalam sistem kontrol ?

1.3. Tujuan

Tujuan utama dari rancang bangun alat ini adalah untuk memenuhi mata kuliah tugas akhir sebagai salah satu syarat kelulusan dari program studi diploma 3 Teknik Instrumentasi, serta untuk memberikan solusi pada rumusan masalah yaitu :

1. Membuat rancang bangun alat sistem pengendalian suhu pada *condenser plant fluidized bed reactor* pengolahan *oil sludge*.
2. Untuk menganalisa hasil performansi sistem pengendalian suhu pada *condenser plant fluidized bed reactor*.

3. Mengintegrasikan mikrokontroller ATmega 32, sensor suhu termokopel tipe k, *control valve*, dan LCD 20x4 dalam sistem kontrol.

1.4. Batasan Masalah

Perlu diberikan beberapa batasan masalah agar pembahasan tidak meluas dan menyimpang dari tujuan. Adapun batasan masalah dari sistem yang dirancang ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang sistem yang dibutuhkan dalam pembuatan sistem pengendalian suhu *condenser* pada *plant fluidized bed reactor* berbasis mikrokontroller.
2. Membuat desain komponen – komponen dari sistem yang ada.
3. Pengujian sistem dari rancang bangun yang telah dibuat dengan menguji rangkaian dari perancangan alat untuk mengetahui performasi alat, baik keakuratan dan keoptimalan alat.
4. Menyusun hasil teori dari pembuatan *hardware*, analisa data dan kesimpulan dari data dan sistem yang ada.

1.5 Sistematika Laporan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, sistematika laporan disusun secara sistematis dan terbagi dalam beberapa bab, diantaranya sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi tentang penjelasan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika laporan.

BAB II Teori Penunjang

Pada bab ini berisikan tentang teori-teori penunjang tugas akhir yang terdiri dari sistem pengendalian suhu, sensor termokopel, *condensor*, *motor servo* dan *microcontroller* ATmega 32.

BAB III**Perancangan dan Pembuatan Alat**

Dalam bab ini dijelaskan secara detail mengenai langkah-langkah yang harus dilakukan untuk mencapai tujuan dan kesimpulan pembuatan tugas akhir ini.

BAB IV**Pengujian Alat dan Analisis Data**

Pada bab ini merupakan tindak lanjut dari Bab III, dimana pengujian yang telah dilakukan akan didapatkan sebuah data, baik data berupa grafik maupun tabulasi, kemudian dilakukan analisa dan pembahasan.

BAB V**Penutup**

Bab ini mengenai kesimpulan pokok dari keseluruhan rangkaian penelitian yang telah dilakukan serta saran yang dapat dijadikan rekomendasi sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

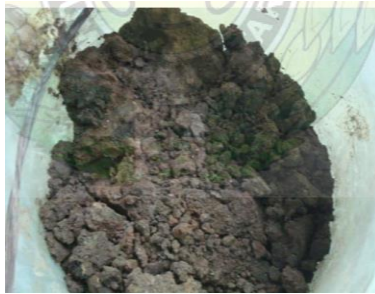
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Oil Sludge*

2.1.1 *Pengertian Oil Sludge*

Oil Sludge adalah kotoran minyak yang terbentuk dari proses pengumpulan dan pengendapan kontaminan minyak, yang terdiri atas kontaminan yang memang sudah ada di dalam minyak, maupun kontaminan yang terkumpul dan terbentuk dalam penanganan suatu proses, tidak dapat digunakan atau diproses kembali dalam proses produksi (Keputusan Direksi Pertamina No.Kpts-074/C00000/2001-SO) [1].



Gambar 2.1 *Oil Sludge*

2.1.2 *Sumber Terjadinya Oil Sludge*

Oil sludge dalam kegiatan industri minyak dan gas bumi dapat terjadi dalam peralatan : *Crude oil tank bottom, Fuel oil tank bottom, Bunker fuel tank bottom, Oil separator bottom, Jet fuel tank bottom, Avigas tank buttom, Unleaded gasoline tank buttom, Diesel tank bottom, Leaded gasoline tank bottom*, dan peralatan lainnya (Keputusan Direksi Pertamina No. KPTS 70/C0000/91-B1) [1].

2.1.3 *Pengaruh Oil Sludge Terhadap Lingkungan*

Sludge minyak mengandung komponen-komponen residu atau kotoran yang ada pada minyak mentah, titik didihnya tinggi,

sebagian besar kandungan minyaknya adalah minyak fraksi berat dan jenis hidrokarbon aromatik serta mengandung beberapa jenis logam berat (PPPTMGM “LEMIGAS”, 1999) [2].

Logam berat adalah golongan logam kriterianya yang sama dengan logam-logam lain perbedaannya pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan atau masuk kedalam tubuh organisme hidup contohnya pada biota perairan terjadi pencemaran (Heryando Palar, 1995) [3].

Kandungan senyawa hidrokarbon aromatik termasuk benzena, toluene dan xylene umumnya ditemukan dalam oil sludge berpotensi karsinogenik (Syafrizal et al, 2010) [4].

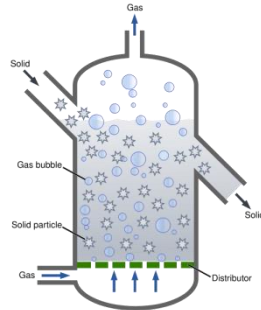
Tabel 2.1 Kandungan *Oil Sludge* Pertamina

No	Jenis Logam Berat
1	Arsen, As
2	Cadmium, Cd
3	Chromium, Cr
4	Copper, Cu
5	Lead, Pb
6	Mercury, Hg
7	Silver, Ag
8	Zinc, Zn

2.2 *Fluidized Bed Reactor*

Fluidisasi merupakan salah satu bentuk peristiwa dimana partikel berfase padatan diubah menjadi fase yang memiliki perilaku layaknya fluida cair dengan cara diberi kontak dengan gas atau cairan. Fenomena fluidisasi ini berlangsung pada media yang dikenal dengan sebutan *fluidized bed reactor*. *Fluidized bed reactor* merupakan suatu media yang berbentuk bejana yang berisikan partikel berfase padat yang kemudian akan dialiri oleh fluida hingga terfluidisasi. Peristiwa fluidisasi ini terjadi akibat adanya gaya drag yang bekerja pada partikel berfase padat yang mana disebabkan karena aliran fluida yang bergerak dari bawah ke atas yang lebih besar daripada gaya gravitasi dan gaya antar partikel. Dalam pengaplikasiannya, *fluidized bed reaktor* pada

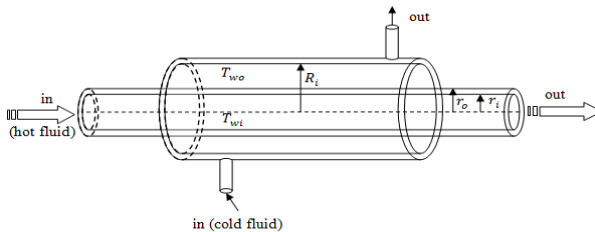
umumnya tidak hanya menggunakan satu jenis partikel melainkan menggunakan lebih dari satu jenis partikel. Penggunaan lebih dari satu jenis partikel dalam *bed* menyebabkan munculnya fenomena pencampuran maupun pemisahan partikel ketika *fluidized bed reactor* beroperasi [5].



Gambar 2.2 *Fluidized Bed Reactor*

2.3 Heat Exchanger

Heat Exchanger merupakan suatu alat yang digunakan dalam proses perpindahan panas untuk mentransfer energy dari fluida panas ke fluida dingin. Atau pun sebaliknya, tanpa terjadi perpindahan massa didalamnya dan dapat digunakan sebagai pemanas ataupun pendingin untuk memenuhi keluaran (*output*) yang ditentukan . Terdapat beberapa macam tipe dan desain *heat exchanger* yang digunakan pada industri proses, antara lain *double pipe heat exchanger*, *shell and tube heat exchanger*, *plate and frame exchanger*, dan lain-lain. Tipe *heat exchanger* yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *double pipe heat exchanger*. Berikut skema *double pipe heat exchanger* :



Gambar 2.3 *Double Pipe Heat Exchange*

2.4 Condenser

Kondensor merupakan salah satu alat penukar kalor yang berfungsi sebagai tempat kondensasi. Kondensor adalah suatu alat yang memungkinkan perpindahan panas dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas dipakai uap lewat panas (*super heated steam*) dan air biasa sebagai air pendingin (*cooling water*). Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung begitu saja.

Besar energi kalor yang dilepaskan kondensor dapat ditentukan dengan persamaan keseimbangan kalor pada kondensor sebagai media pendingin yaitu:

$$Q_C = m_a \cdot C_p \cdot (T_o - T_i) \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana : m_a = laju aliran massa air pendingin, kg/s

C_p = kalor spesifik air pendingin, kJ/kg

T_o = Temperature air pendingin keluar kondensor, °C

T_i = Temperature air pendingin masuk kondensor, °C

2.5 Temperature (Suhu)

Temperature adalah suatu besaran fisika yang secara mikroskopik dapat dikatakan sebagai amplitudo energi gerak atom atau molekul. Energi ini disebut dengan energi panas yang disebabkan karena adanya interaksi atom atau molekul tersebut [6]. Dalam ilmu termodinamika, temperatur merupakan suatu ukuran kecenderungan bentuk atau sistem untuk melepaskan energi secara spontan [7]. Temperatur atau suhu merupakan sebuah fenomena fisika dari suatu sistem yang merupakan dasar dari anggapan lazim "panas" dan "dingin" nya suatu benda, yakni sesuatu yang lebih panas mempunyai suhu yang lebih tinggi. Suhu datangnya dari gerakan-gerakan mikroskopik dan berkaitan dengan tenaga gerakan-gerakan mikroskopik ini [8]

2.6 Sensor Termokopel Tipe K

Termokopel adalah sensor suhu yang banyak digunakan yang berfungsi untuk mengubah perbedaan panas dalam benda yang diukur temperaturnya menjadi perubahan potensial atau tegangan listrik. Termokopel merupakan salah satu jenis dari *thermometer* elektronik. Dalam dunia industri penggunaan *thermocouple* dimanfaatkan untuk melakukan pengukuran suhu. Hal ini dikarenakan jangkauan pengukuran yang lebar, yakni – 270 sampai 2000 °C dengan sensitifitas yang sangat tinggi. *Thermocouple* dapat mengubah perbedaan temperatur menjadi potensial atau tegangan listrik yang besar beda potensial yang didapatkan adalah sekitar 1-70 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$, bergantung dari jenis termokopelnya [9].

Pada dasarnya terdapat 8 jenis tipe *thermocouple*. Perbedaanya terdapat pada bahan dan aplikasi penggunaannya. Mulai dari tipe K, tipe E, tipe J, tipe N, tipe B, tipe R, tipe S, dan tipe T. Sebagai penandanya adalah perbedaan warna pembungkus konduktor yang digunakan. Dapat dilihat pada gambar di bawah :

INDIA ISI-8784	USA ANSI-MC- 96-1	GERMANY DIN 43710-4	BRITISH BS-1843	FRENCH NFE C-42-324	JAPAN JIS C-1610- 1981
THERMOCOUPLE EXTENSION / COMPENSATING TYPE					
EXTENSION :					
K					
J					
T					
E					
N					
COMPENSATING :					
V					
R/S					
B					

Gambar 2.4 Jenis *Thermocouple* Berdasarkan Warna

Untuk *thermocouple* tipe-k, misal buatan Jepang, digunakan warna biru untuk pembungkus kabel, dan pembungkus konduktornya berwarna putih merah [10].

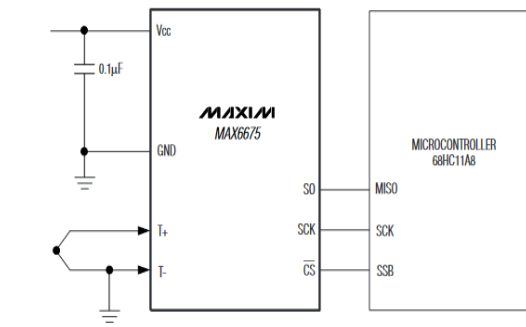
Thermocouple tipe-k, terdiri dari dua buah konduktor yang berbeda komposisi, yaitu Kromel-Alumel. *Thermocouple* ini merupakan termokopel yang biasa digunakan dalam berbagai kegiatan industri. Selain harganya yang murah, termokopel ini juga mempunyai jangkauan yang cukup tinggi. Termokopel tipe-K memiliki batas suhu antara -270°C sampai $+1370^{\circ}\text{C}$, dengan sensitivitas mendekati $40\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ [11].



Gambar 2.5 Termokopel Tipe-K

2.7 MAX6675

MAX6675 merupakan sebuah *converter* pengganti *cold-junction* dan pendigitalan sinyal dari *Thermocouple* tipe-K. Data yang diberikan adalah *output* dalam resolusi 12-bit, kompatibel dengan SPI TM, dan hanya Format *Read Only*. *Converter* ini mampu membaca suhu sampai $0,25^{\circ}\text{C}$, dan memungkinkan pembacaan suhu tinggi sampai $+1024^{\circ}\text{C}$. Dengan akurasi *thermocouple* 8 LBs untuk suhu mulai dari 0°C hingga $+700^{\circ}\text{C}$.

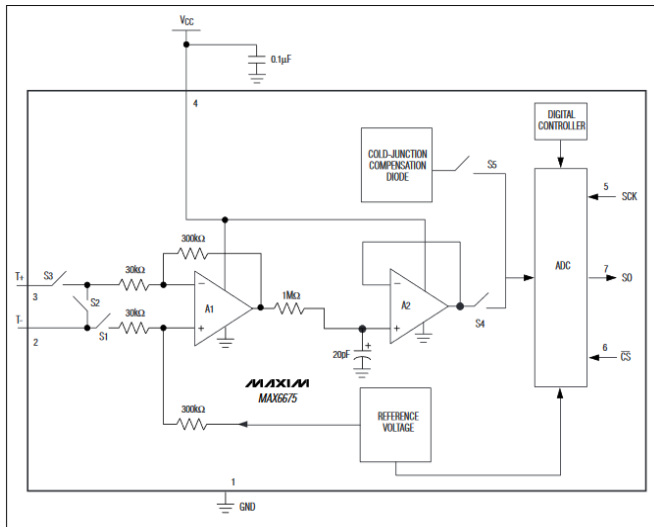


Gambar 2.6 Blok Diagram MAX6675

MAX6675 merupakan *thermocouple digital converter* canggih, dengan *built in 12-bit analog ke digital (ADC)*. MAX6675 juga merupakan *cold-junction compensation sensing, digital controller, SPI-compatible interface* dan *control logic*. MAX6675 dapat dengan mudah dikoneksikan ke Arduino atau *minsys* lainnya menggunakan komunikasi SPI.

Tabel 2.2 Spesifikasi Modul MAX6675

Operating voltage	3.0 ~ 5.5V
Operating Current	50mA
Cold junction compensation range	- 20 ~ + 80 Degree
module size	25mm * 15mm * 13mm
Temperature resolution	0.25 Degree
Using SPI 3 wire communication	SO, CS & SCK
Internal integrated cold junction compensation circuit	
With a simple three serial interface	
Temperature signal can be converted into 12-bit digital	



Gambar 2.7 Schematic rangkaian MAX6675

MAX6675 termasuk perangkat *signal-condition* untuk mengkonversi sinyal *thermocouple* ke dalam tegangan yang kompatibel dengan saluran masukan dari ADC. T⁺ dan T⁻ inputs terhubung ke sirkuit internal yang mengurangi kesalahan/error dari kabel *thermocouple*. Sebelum mengubah tegangan *thermoelectric* ke nilai suhu yang setara, perlu mengimbangi perbedaan antara sisi *cold-junction thermocouple* (suhu ambient MAX6675) dan 0 ° C referensi virtual. Untuk termokopel tipe-K, perubahan tegangan terjadi pada 41μV/°C, yang mendekati Karakteristik *thermocouple* secara linear.

$$V_{out} = (41\mu V / ^\circ C) \cdot 5 (T_R - T_{amb}) \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

V_{out} adalah tegangan keluaran *thermocouple* (μV).

T_R adalah suhu *thermocouple junction* (°C). [12]

2.8 Ball Valve

Valve/katup adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mengatur aliran suatu fluida dalam bentuk cair maupun gas. Jenis *valve* beraneka ragam antara lain : *globe valve*, *gate valve*, *ball valve*, *check valve*, dan lain-lain. Berdasarkan fungsinya, *valve* dapat dikategorikan menjadi 3 macam, diantaranya :

1. Stop Valve

Penggunaan *stop valve* pada suatu sistem perpipaan umumnya digunakan untuk membuka atau menutup aliran. Jenis *stop valve* : *globe valve*, *gate valve*, *ball valve*, *butterfly valve*, dan lain-lain.

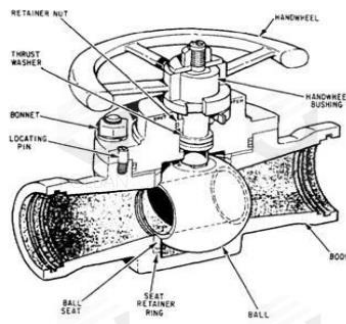
2. Regulating Valve

Penggunaan *regulating valve* umumnya untuk mengatur laju debit aliran. Jenis *regulating valve* : *non return valve/check valve*, *pressure reducing valve*.

3. Safety Valve

Penggunaan *safety valve* umumnya untuk mengatur tekanan jika berlebih dan berkurang. Biasanya hal ini terkait dengan nilai ambang batas maksimum atau minimum pada suatu sistem. Jenis *safety valve* : *relief valve*, *back pressure valve*.

Ball valve merupakan salah satu jenis *stop valve* yang digunakan hanya untuk tekanan rendah. *Ball valve* dapat digunakan untuk fluida dengan temperatur yang tinggi.



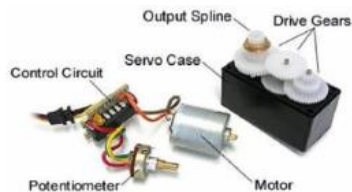
Gambar 2.8 Ball Valve

Sumber : Imil (2008)

Keuntungan dari penggunaan *ball valve* adalah *low maintenance*, dapat digunakan untuk temperatur tinggi, dan juga harga yang relatif terjangkau. Selain itu dipasaran ukuran ball valve tersedia dari 1/4"- 6 ". Kerugian dari penggunaan *ball valve* adalah kecenderungan timbulnya kavitasi [14].

2.9 Motor Servo

Motor servo adalah sebuah perangkat atau aktuatur putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik loop tertutup (servo), sehingga dapat di set-up atau di atur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros output motor untuk menggerakkan *valve*. Motor servo terdiri dari motor DC, serangkaian *gear*, rangkaian kontrol dan potensiometer. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servodiatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor [15].



Gambar 2.9 Komponen Motor Servo



Gambar 2.10 Motor Servo Toward Pro MG996R

2.10 Pompa

Pompa adalah peralatan mekanis untuk mengubah energi mekanik dari mesin penggerak pompa menjadi energi tekan fluida yang dapat membantu memindahkan fluida ke tempat yang lebih tinggi elevasinya. Selain itu, pompa juga dapat digunakan untuk memindahkan fluida ke tempat dengan tekanan yang lebih tinggi atau memindahkan fluida ke tempat lain dengan jarak tertentu. Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk (suction) dengan bagian keluar (discharge). Dengan kata lain, pompa berfungsi mengubah tenaga mekanis dari suatu sumber tenaga (penggerak) menjadi tenaga kinetis (kecepatan), dimana tenaga ini digunakan untuk mengalirkan cairan dan melawan hambatan yang ada sepanjang aliran fluida. Jadi pompa dalam industri biasanya digunakan untuk transportasi fluida, dimana kerja dari pompa tersebut tergantung dari sifat dan jenis fluida [16].

2.11 Mikrokontroler

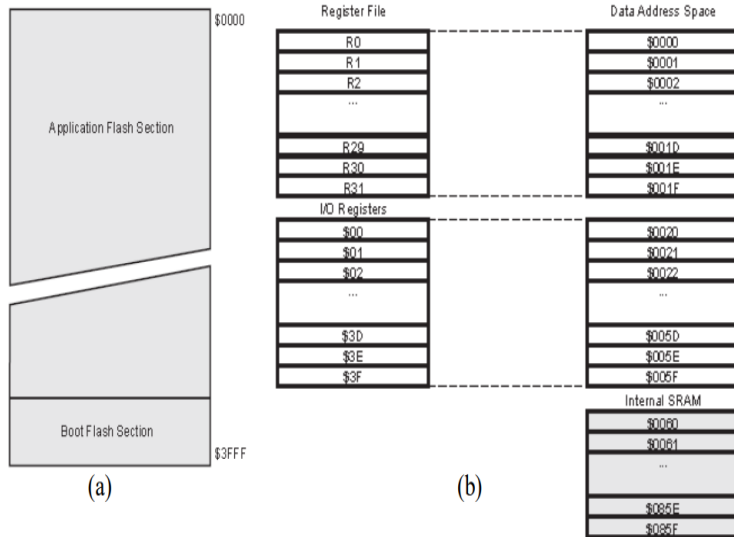
Sebuah komputer mikro memiliki tiga komponen utama yaitu, unit pengolah pusat *Central Processing Unit* (CPU), memori dan sistem *input/output* (I/O) untuk dihubungkan dengan perangkat luar. *Central Processing Unit* (CPU), yang mengatur sistem kerja komputer mikro, dibangun oleh sebuah mikroprosesor. Memori terdiri atas EEPROM untuk menyimpan program dan RAM untuk menyimpan data. Sistem I/O bisa dihubungkan dengan perangkat luar misalnya sebuah *keyboard* dan sebuah monitor, bergantung pada aplikasinya. Apabila *Central Processing Unit* (CPU), memori dan sistem I/O dibuat dalam sebuah *chip* semikonduktor, maka inilah yang dinamakan mikrokontroler [17].

2.12 Mikrokontroler ATmega32

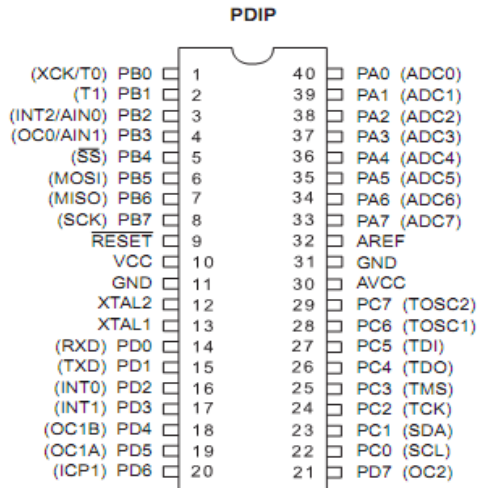
Mikrokontroler ATmega32 adalah mikrokontroler 8-bit keluaran Atmel dari keluarga AVR. Pihak Atmel menyatakan bahwa AVR bukanlah sebuah akronim atau singkatan dari suatu kalimat tertentu, perancang arsitektur AVR, Alf-Egil Bogen dan

Vegard Wollan tidak memberikan jawaban yang pasti tentang singkatan AVR ini (http://en.wikipedia.org/wiki/Atmel_AVR). Mikrokontroler ini dirancang berdasarkan arsitektur AVR RISC (Reduced Instruction Set Computer) yang mengeksekusi satu instruksi dalam satu siklus clock sehingga dapat mencapai eksekusi instruksi sebesar 1 MIPS (Million Instruction Per Second) setiap 1 MHZ frekuensi clock yang digunakan mikrokontroler tersebut. Frekuensi clock yang digunakan dapat diatur melalui fuse bits dan kristal yang digunakan. Jika kristal yang digunakan sebesar 16 MHZ sehingga frekuensi clock-nya sebesar 16 MHZ maka eksekusi instruksinya mencapai 16 MIPS (Atmel, 2009).

ATmega32 memiliki fitur utama antara lain: 16K x 16 byte In-System Programmable Flash Program memory dari alamat 0000H sampai 3FFFFH. Flash memory ini terbagi menjadi dua bagian yaitu application flash section dan boot flash section. Data memori sebesar 2144 byte yang terbagi atas 32 general purpose register, 64 I/O register, dan 2KB internal SRAM (Static Random Access Memory), 1 KB EEPROM (Electrically Erasable Read Only Memory), 32 I/O pin, tiga unit timer/counter, internal dan eksternal interrupt, USART (Universal Synchronous and Asynchronous Receiver Transceiver), TWI (Two-wire Serial Interface), 10-bit ADC (Analog to Digital Converter) delapan saluran, SPI (Serial Programmable Interface), watchdog timer, dan internal clock generator. Seperti telah disebutkan di atas ATmega32 memiliki 32 general purpose register, dan register ini terhubung langsung dengan dengan ALU (Arithmetic Logic Unit) sehingga dua register dapat sekaligus diakses dalam satu instruksi yang dieksekusi tiap clock-nya. Sehingga arsitektur seperti ini lebih efisien dalam eksekusi kode program dan dapat mencapai eksekusi sepuluh kali lebih cepat dibandingkan mikrokontroler CISC (Complete Instruction Set Computer) (Atmel, 2009). Gambar 2.11, 2.12, dan 2.13 masing-masing menunjukkan desain memori, susunan pin, dan arsitektur mikrokontroler ATmega32.

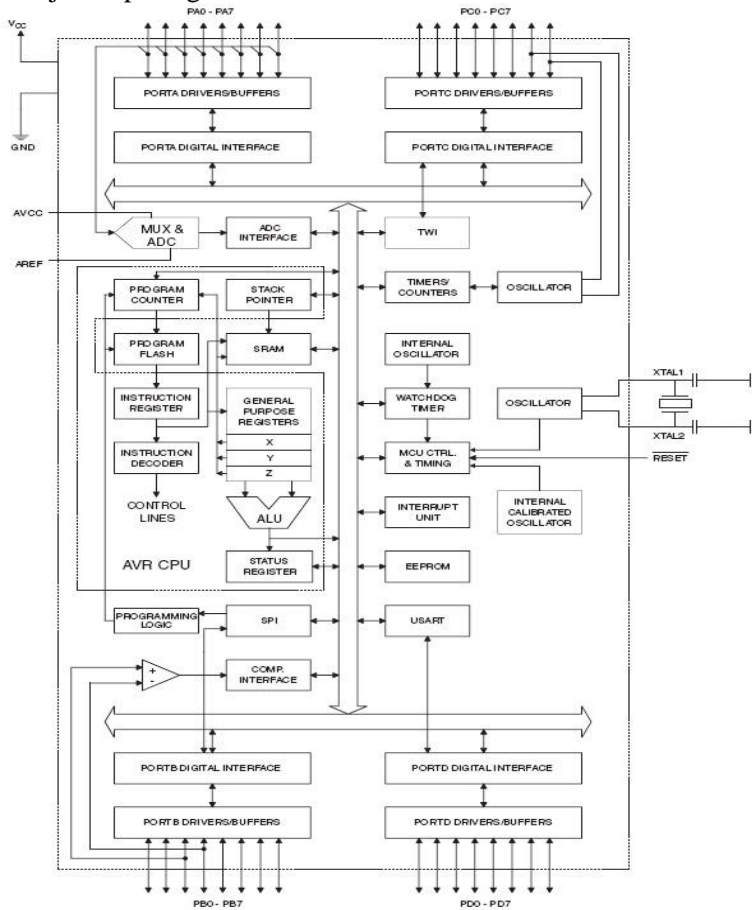


Gambar 2.11 (a) Flash Program Memory, (b) Data Memory



Gambar 2.12 Susunan Pin ATmega32^[18]

Blok diagram fungsional mikrokontroler ATmega8535 ditunjukkan pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Arsitektur Mikrokontroler ATmega32^[18]

ATmega32 memiliki clock generator internal sehingga mikrokontroler ini dapat bekerja langsung tanpa menggunakan clock eksternal. Sinyal clock internal yang dibangkitkan sebesar 1 MHZ. Jadi, cukup dengan menghubungkan Vcc dan Gnd dengan tegangan 5V DC mikrokontroler ini dapat bekerja.

Untuk membuat program untuk ATmega32 dapat digunakan WinAVR atau AVR Studio yang dapat diperoleh secara gratis (freeware). Namun dalam pembahasan ini software yang digunakan adalah WinAVR. Program dibuat dalam bahasa C dan menambahkan file header untuk ATmega32 yang berisi register-register pada ATmega32. Setelah program di-compile akan menghasilkan file dengan tipe Intel hex (.hex). File inilah yang nantinya akan di-programkan ke ATmega32 melalui interface bsd programmer (Brian Dean's Programmer) yang terhubung ke komputer melalui port paralel. Koneksi antara ATmega32 dan port paralel untuk bsd programmer diberikan oleh tabel 2.3 [17].

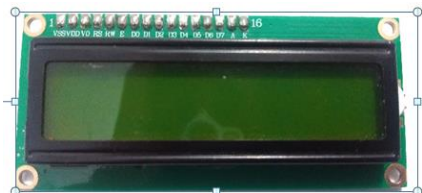
Tabel 2.3 Koneksi Pin Port Paralel dan ATmega32

Port paralel		ATmega32	
No pin	Nama pin	No pin	Nama pin
7	D5	9	Reset
8	D6	8	SCK
9	D7	6	MOSI
10	S6	7	MISO
19	Ground	11	Ground

2.13 Liquid Crystal Display (LCD)

Liquid Crystal Display (LCD) adalah suatu alat untuk *display* berbagai *character*. LCD ini mempunyai beberapa ukuran mengikuti bilangan *character* seperti 20x4. 20x4 *character*

bermakna LCD tersebut mempunyai 20 kolom dan 4 baris. LCD ini mempunyai 16 *pin*.



Gambar 2.14 *Liquid Crystal Display*

LCD karakter dalam pengendaliannya cenderung lebih mudah dibandingkan dengan LCD grafik. Namun ada kesamaan diantara keduanya, yaitu inisialisasi. Inisialisasi adalah prosedur awal yang perlu dilakukan dan dikondisikan kepada LCD agar LCD dapat bekerja dengan baik. Hal ini sangat penting ditentukan dalam proses inisialisasi adalah jenis *interface* (antar muka) antara yang dapat digunakan dalam pengendalian LCD karakter.

Untuk dapat mengendalikan LCD karakter dengan baik, tentu perlu koneksi yang benar. Koneksi yang benar dapat diwujudkan dengan cara mengetahui *pins* antarmuka yang dimiliki oleh LCD karakter tersebut. Untuk mengakses LCD 20x4 harus melakukan konfigurasi pin dari LCD dengan pin I/O mikrokontroler tersebut.

Berikut tabel deskripsi pin pada LCD :

Tabel 2.4 Deskripsi Pin Pada LCD

No	<i>Symbol</i>	<i>Function</i>
1	VSS	<i>GND pin,0V</i>
2	VDD	<i>Positive power pin, +5V</i>
3	V0	<i>LCD drive voltage input pin</i>
4	RS	<i>Data/Instruction select input pin</i>
5	R/W	<i>Read/Write select input pin</i>
6	E	<i>Enable input pin</i>
7-14	D0-D7	<i>Data bus line</i>
15	Led A	<i>Led power supply</i>

16	Led K	<i>Led power supply</i>
----	-------	-------------------------

2.14 Software Code Vision AVR

Code Vision AVR merupakan sebuah *cross-compiler C*, *Integrated Development Environment (IDE)*, dan *Automatic Program Generator* yang didesain untuk mikrokontroler buatan Atmel seri AVR. *Code Vision AVR* dapat dijalankan pada sistem operasi Windows 95, 98, Me, NT4, 2000, dan XP. *Cross-compiler C* mampu menerjemahkan hampir semua perintah dari bahasa ANSI C, sejauh yang diizinkan oleh arsitektur dari AVR, dengan tambahan beberapa fitur untuk mengambil kelebihan khusus dari arsitektur AVR dan kebutuhan pada sistem *embedded*.

File object COFF hasil kompilasi dapat digunakan untuk keperluan *debugging* pada tingkatan C, dengan pengamatan variabel, menggunakan *debugger Atmel AVR Studio*. IDE mempunyai fasilitas internal berupa *software AVR Chip In-System Programmer* yang memungkinkan untuk melakukan *transfer* program kedalam *chip* mikrokontroler setelah sukses melakukan kompilasi/assembly secara otomatis. *Software In-System Programmer* didesain untuk bekerja dengan *Atmel STK500/AVRISP/AVRProg*, *Kanda System STK200+/300*, *Dontronics DT006*, *Vogel Elektronik VTEC-ISP*, *Futurlec JRAVR* dan *Micro Tronics ATCPU/Mega2000 programmers/development boards* [19].

2.15 Sistem Pengendalian Proses

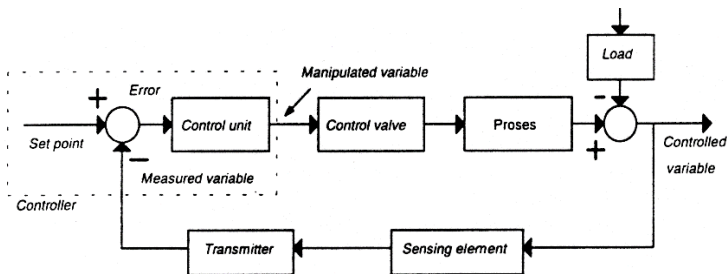
Sistem adalah kombinasi dari beberapa komponen yang bekerja bersama-sama dan melakukan suatu sasaran tertentu, sedangkan pengendalian diartikan sebagai mengekang dan menguasai. Jadi sistem pengendali proses adalah sistem pengendalian suatu parameter dari berbagai macam proses. Sistem pengendalian proses terbagi menjadi dua yaitu sistem pengendalian manual dan sistem pengendalian otomatis.

- a. Sistem pengendalian manual adalah sistem pengendalian dengan subyek adalah makhluk hidup, contoh oleh

manusia. Biasanya sistem ini dipakai pada beberapa proses-proses yang tidak banyak mengalami perubahan beban (*load*) atau pada proses yang tidak kritis.

- b. Sistem pengendalian otomatis adalah sistem pengendalian dimana subyek digantikan oleh suatu alat yang disebut *controller*. Dimana tugas untuk membuka dan menutup *valve* tidak lagi dikerjakan oleh operator, tetapi atas perintah *controller*.

Semua analisa sistem pengendalian selalu dimulai dengan menampilkan diagram blok sistem. Didalam diagram blok sistem pengendalian otomatis, akan selalu ada komponen-komponen pokok seperti elemen proses, elemen pengukuran (*sensing element* dan *transmitter*), elemen *controller* (*control unit*), dan *final control element* (*control valve*). Berikut merupakan diagram blok sistem pengendalian otomatis:



Gambar 2.15 Diagram Blok Sistem Pengendalian Otomatis^[21]

Pada gambar 2.16, bagian *controller* mempunyai *summing junction* dengan tanda positif-negatif (+/-). Di titik inilah langkah membandingkan dilakukan mengurangi besaran *set point* dengan sinyal *measurement variable*. Hasilnya adalah sinyal yang disebut *error*. Untuk tanda (-) pada *summing junction* sistem pengendalian otomatis disebut sistem *negative feedback*., jika tanda pada *summing junction* (+) maka sistem pengendalian otomatis disebut *positif feedback*. Beberapa keterangan mengenai elemen-elemen sistem pengendalian otomatis dari diagram blok pada gambar 2.16 adalah sebagai berikut:

a. Proses (*Process*)

Proses adalah tatanan peralatan yang mempunyai suatu fungsi tertentu. *Input* proses dapat bermacam-macam, yang pasti merupakan besaran yang dimanipulasi oleh *final control element* atau *control valve* agar variabel yang dimaksud sama dengan *set point*. *Input* proses ini juga disebut *manipulated variable*.

b. *Controlled Variable*

Controlled variable adalah besaran atau *variable* yang dikendalikan. Besaran ini pada diagram blok juga disebut *output proses* atau *process variable*.

c. *Manipulated Variable*

Manipulated variable adalah *input* dari suatu proses yang dapat dimanipulasi atau diubah-ubah besarnya dengan tujuan agar *process variable* atau variabel yang dikendalikan besarnya sama dengan *set point*.

d. *Disturbance*

Disturbance adalah besaran lain, selain *manipulated variable*, yang dapat menyebabkan berubahnya *controlled variable*. Besaran ini juga disebut dengan *load*.

e. *Sensing Element*

Sensing element adalah bagian paling ujung suatu sistem pengukuran (*measuring system*). Contoh elemen pengukur yang banyak dipakai misalnya *thermocouple* atau *orifice plate*. Bagian ini juga biasa disebut *sensor* atau *primary element*.

f. *Transmitter*

Transmitter adalah alat yang berfungsi untuk membaca sinyal *sensing element*, dan mengubahnya menjadi sinyal yang dapat dimengerti oleh *controller*.

g. *Transducer*

Transducer adalah unit pengalih sinyal. Kata *transmitter*, seringkali dirancukan dengan kata *transducer*. Keduanya memang mempunyai fungsi yang serupa, walaupun tidak sama benar. *Transducer* lebih bersifat umum, sedangkan *transmitter* lebih khusus pada penggunaan dalam sistem pengukuran.

h. *Measurement Variable*

Measurement variable adalah sinyal yang keluar dari *transmitter*. Besaran ini merupakan cerminan besarnya sinyal sistem pengukuran.

i. *Set Point*

Set point adalah besar *process variable* yang dikehendaki. Sebuah *controller* akan selalu berusaha menyamakan *controlled variable* dengan *set point*.

j. *Error*

Error adalah selisih antara *set point* dikurangi *measured variable*. *Error* bisa negatif, bisa juga positif. Bila *set point* lebih besar dari *measured variable*, *error* akan menjadi positif. Sebaliknya, bila *set point* lebih kecil dari *measured variable*, *error* menjadi negatif.

k. *Controller*

Controller adalah elemen yang mengerjakan tiga dari empat tahap langkah pengendalian yang membandingkan *set point* dengan *measurement variable*, menghitung berapa banyak koreksi yang perlu dilakukan, dan mengeluarkan sinyal koreksi sesuai dengan hasil perhitungan tadi. *Controller* sepenuhnya menggantikan peran manual dalam mengendalikan sebuah proses. *Controller* merupakan alat pengendali.

1. *Control Unit*

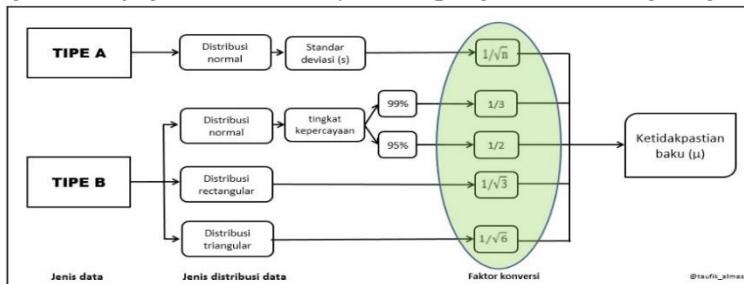
Control unit adalah bagian dari *controller* yang menghitung besarnya koreksi yang diperlukan. *Input control unit* adalah *error*, dan *output*-nya adalah sinyal yang keluar dari *controller* (*manipulated variable*). *Control unit* memiliki *transfer function* yang tergantung pada jenis *controller*. *Output control unit* adalah hasil penyelesaian matematik *transfer function* dengan memasukkan nilai *error* sebagai *input*.

m. *Final Control Element*

Final control element adalah bagian akhir dari instrumentasi sistem pengendalian. Bagian ini berfungsi untuk mengubah *measurement variable* dengan cara memanipulasi besarnya *manipulated variable* berdasarkan perintah *controller* [20].

2.16 Teori Ketidakpastian

Sumber-sumber ketidakpastian yang turut memberikan kontribusi selain ada pada diri manusia sendiri sebagai pelaku pengukuran/kalibrasi juga pada alat-alat bantu (kalibrator) yang digunakan, juga resolusi alatnya serta pengaruh suhu lingkungan.



Gambar 2.16 Diagram Alir Penentuan Nilai Ketidakpastian Baku dari Data Tipe A dan B [21]

Untuk mengevaluasi masing-masing sumber ketidakpastian tersebut, diperlukan analisa dengan menggunakan metoda statistik, yang disebut analisa *type A*, dan menggunakan selain

metode statistik yang disebut dengan Analisa *type B*. untuk lebih jelasnya dapat dilihat sebagai berikut:

a. Analisa *Type A*, (U_a)

Pada tipe ini biasanya ditandai dengan adanya data pengukuran, misalnya n kali pengukuran, maka selanjutnya dari data tersebut, akan ditemukan nilai rata-ratanya, standar deviasinya, dan atau *repeatability*-nya. Bentuk kurva dari tipe ini adalah sebaran Gauss. Rumus umum ketidakpatian untuk tipe A ini adalah:

$$Ua_1 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

σ = Standar deviasi

n = Banyaknya data

Rumus standar deviasi (σ) sendiri adalah sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}}{n-1} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

y_i = nilai koreksi ke- i

\bar{y} = rata-rata nilai koreksi

σ = Standard Deviasi

Sedangkan untuk Ua_2 rumusnya dapat diketahui seperti di bawah ini:

$$Ua_2 = \sqrt{\frac{SSR}{n}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

SSR (*Sum Square Residual*) = ΣSR (*Square Residual*)

$SR = R^2$ (*Residu*)

$$SSR = \sum R^2 \dots\dots\dots (2.6)$$

$$R = Y_i - Y_{\text{Reg}} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$Y_{\text{Reg}} = a + bX_i \dots\dots\dots (2.8)$$

$$a = \bar{y} + (b\bar{x}) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \dots\dots\dots (2.10)$$

b. Analisa *Type B* (U_b)

Pada analisa tipe ini akan digunakan selain metode statistik, yaitu berdasarkan adanya sertifikat kalibrasi atau tidak dan spesifikasi dari alat tersebut. Berhubung dalam laporan ini alat ukur standar yang dipakai tidak ada sertifikat kalibrasi, maka rumusnya adalah sebagai berikut:

$$Ub_1 = \frac{0,5 \text{ Resolusi}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$Ub_2 = \frac{a}{k} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana:

Ub_1 = Ketidakpastian resolusi

Ub_2 = Ketidakpastian dari alat standar

a = Ketidakpastian sertifikat kalibrasi

k = faktor cakupan

c. Ketidakpastian Kombinasi (U_c)

Selanjutnya dari semua sumber ketidakpastian tersebut harus dikombinasikan atau digabungkan untuk memberikan gambaran menyeluruh ketidakpastian dari hasil kalibrasi tersebut. Rumus umum ketidakpastian kombinasi adalah:

$$U_c = \sqrt{\sum (U_a)^2 + \sum (U_b)^2} \dots\dots\dots(2.13)$$

Atau secara umum:

$$U_c^2 = \sum (C_i \cdot U_i)^2 \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan C_i = Koefisien sensitifitas dari ketidakpastian ke-
I

d. Ketidakpastian Diperluas (U_{exp})

Dalam pelaporan ketidakpastian hasil pengukuran/kalibrasi yang dilaporkan adalah ketidakpastian yang sudah dalam perluasan (*expanded*), sehingga hasil tersebut sangat logis dalam kenyataan, selain itu dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95 %, seperti lazimnya dipakai dalam pelaporan-pelaporan saat ini, lain halnya jika ada pengecualian dengan mengambil tingkat kepercayaan tertentu. Rumus ketidakpastian diperluas (*expanded uncertainty*) adalah:

$$U_{95} = k U_c \dots\dots\dots(2.15)$$

Dengan:

U_{95} = Ketidakpastian diperluas

k = Faktor Cakupan

U_c = Ketidakpastian kombinasi

e. Derajat Kebebasan Efektif (V_{eff})

Nilai faktor cakupan, k untuk perkalian ketidakpastian diperluas diatas didapat dari derajat kebebasan efektif, V_{eff} , dengan rumus:

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum (U_i)^4 / v_i} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dengan:

U_c = Ketidakpastian kombinasi/gabungan

U_i = Ketidakpastian individual ke-i

V_i = Derajat kebebasan pada ketidakpastian individual ke-i

f. Tingkat Kepercayaan (U_{95})

Tingkat kepercayaan merupakan tingkatan keyakinan akan keberadaan nilai sebenarnya pada suatu tindak pengukuran dengan menggunakan alat tertentu.

g. Faktor Cakupan (k)

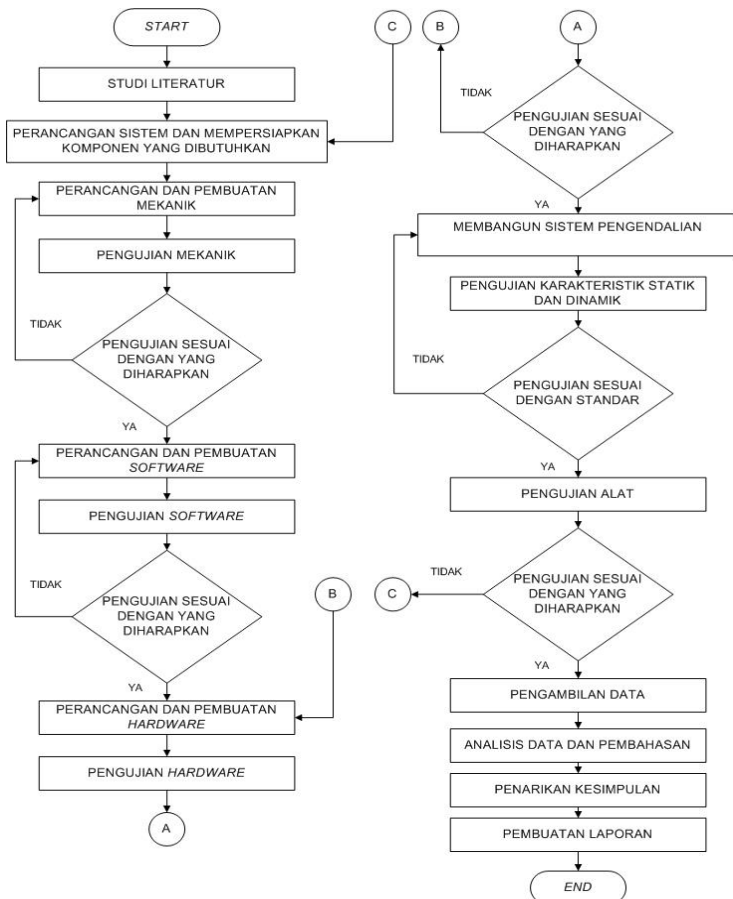
Faktor cakupan meruakan faktor pengali pada ketidakpastian, sehingga membentuk cakupan logis pada penggunaan keseharian. Faktor cakupan dicari menggunakan tabel *T-Student Distribution* [22].

BAB III

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1. Diagram Alir (*Flowchart*)

Tahapan penelitian Tugas Akhir ini, secara umum dapat digambarkan dalam *flowchart* seperti dibawah ini.



Gambar 3.1 *Flowchart* Tugas Akhir

3.2. Keterangan Flowchart

3.2.1 Studi Literatur

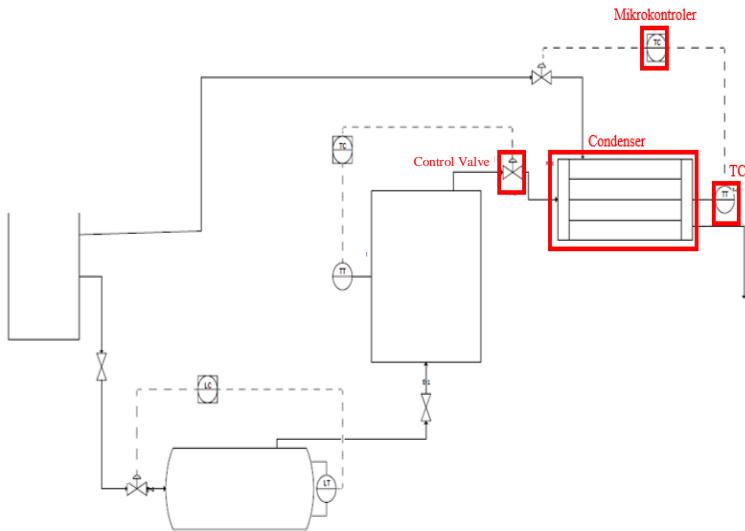
Mempelajari literatur dari penelitian – penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya mengenai pembuatan sistem pengendalian suhu. Selain belajar sistem pada perancangan sistem kontrol, juga dilakukan mencari literatur – literatur yang berkaitan dengan elemen-elemen yang digunakan dalam pembuatan sistem pengendalian suhu misalnya *datasheet* sensor, aktuator, dan karakteristik mikrokontroller.

3.2.2 Perancangan dan Pembuatan *Hardware* dan *Software* Alat Pengendalian Suhu

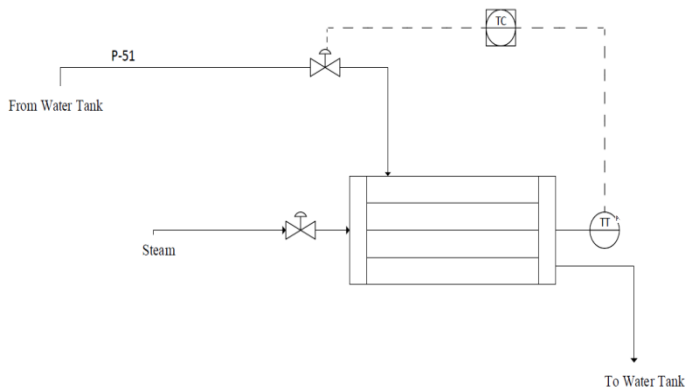
Pada perancangan plant *fluidized bed reactor* pengolah *oil sludge*, *condenser* terletak setelah tangki pemanas dan *reactor*. *Condenser* termasuk sebuah alat *heat exchanger* (penukar panas) yang bertugas untuk mengkondensasikan uap minyak dengan bantuan air sebagai fluida pendingin. *Condenser* yang digunakan adalah tipe susunan pipa ganda (*double pipe*) dimana uap minyak mengalir di sisi *tube* dan air pendingin dialirkan pada ruang *annulus*. Uap minyak akan berkontak secara tidak langsung dengan air pendingin sehingga panas dari uap minyak akan diserap oleh air dan selanjutnya uap minyak akan berubah menjadi kondensat yaitu minyak mentah.

Condenser yang dirancang pada tugas akhir ini dibuat dari bahan dasar *stainless steel* dengan panjang 116 cm, diameter pipa dalam 2 cm, dan diameter pipa luar 7 cm. Prinsip kerja dari pengendalian suhu ini yaitu, mengatur *mass flow rate* air pendingin yang akan dialirkan pada ruang *annulus condenser* dengan mengatur posisi bukaan *valve* yang digerakkan oleh servo yang dipasang pada pipa saluran masuk ruang *annulus*.

Pada saat kondisi *startup*, dimana uap minyak belum diteruskan ke *condenser* suhu yang terukur pada *tube condenser* belum mencapai *set point* maka *valve* masih keadaan tertutup dan *valve* akan membuka ketika suhu yang terukur pada *tube condensor* telah mencapai dan melebihi dari nilai *set point*.



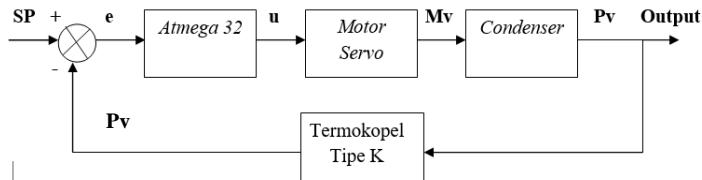
Gambar 3.2 P&ID Plant Fluidized Bed Reactor



Gambar 3.3 P&ID Condenser

Pada perancangan dan pembuatan *hardware* serta *software* terdapat beberapa tahap, yaitu sensor termokopel dihubungkan dengan rangkaian modul MAX6675 sebagai *amplifier*, kemudian masuk ke pemrograman mikrokontroller Atmega 32 untuk

pengolahan data dari sensor dan aksi aktuator. Pada perancangan sistem pengendalian suhu ini terdapat diagram blok pengendalian. Berikut merupakan diagram blok sistem pengendalian suhu



Gambar 3.4 Diagram Sistem Pengendalian Suhu *Condenser*

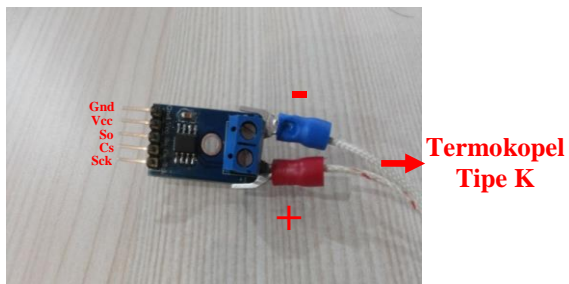
Diagram blok tersebut menjelaskan mengenai alur pengendalian suhu *condenser*. Mulai dari SetPoint, yang kemudian akan diproses mikrokontroler yang akan menginstruksikan aktuator untuk mengubah nilai *manipulated variable* yang nantinya akan mengubah nilai *process variable* sehingga akan mendekati *setpoint*. Nilai *process variable* ini kemudian akan diukur kembali oleh termokopel dan kemudian akan di proses kembali oleh mikrokontroler untuk meminimalkan nilai *error*. Aktuator motor servo akan aktif untuk mengatur bukaan *valve*. Ketika suhu yang terukur pada bagian *tube condensor* belum mencapai *setpoint* maka *valve* akan menutup dan *valve* akan membuka ketika suhu yang terukur pada *tube condensor* telah mencapai dan melebihi dari nilai *set point*.

Perancangan dan Pembuatan *Hardware*

Pada sistem pengendalian suhu *condenser* ini menggunakan sensor termokopel tipe K (*K-Type Thermocouple*) dan modul MAX6675. Termokopel berfungsi sebagai sensor untuk mengukur suhu yang memiliki jangkauan pengukuran. Pada diagram blok pengendalian diatas, termokopel adalah sensor yang digunakan untuk memberikan nilai pengukuran yang akan diproses oleh mikrokontroler. Karena termokopel tidak bisa terhubung langsung ke pemroses sinyal maka dibutuhkan rangkaian pengkondisian sinyal.

Dalam perancangan sensor termokopel tipe k pada tugas akhir ini dibutuhkan sebuah pengkondisian sinyal karena tegangan

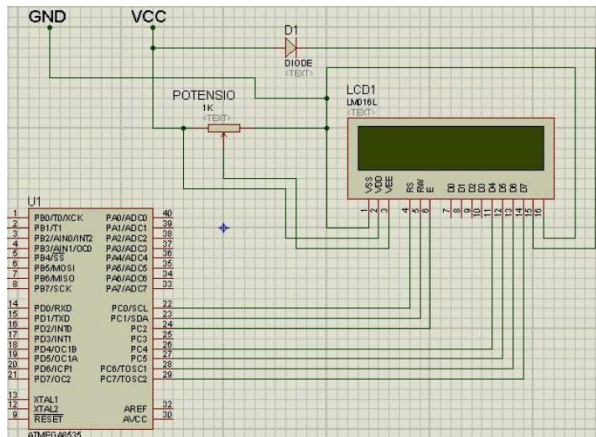
keluaran dari sensor termokopel masih sangat kecil sehingga perlu dikuatkan terlebih dahulu agar sensor suhu termokopel dapat diolah oleh mikrokontroler. Pengkondisi sinyal yang digunakan adalah modul MAX6675. Modul MAX6675 dibentuk dari kompensasi cold-junction yang outputnya didigitalisasi dari sinyal yang dihasilkan oleh thermocouple type-k. Data output memiliki resolusi 12 bit dan mendukung komunikasi SPI mikrokontroler secara umum. Data dapat dibaca dengan mengkonversi dengan hasil pembacaan 12-bit data sehingga mikrokontroler dapat mengakses data dari MAX6675 dengan mudah melalui protokol SPI (*Serial Peripheral Interface*). Setelah mendapatkan keluaran yang dapat dibaca oleh mikrokontroler, maka tahap selanjutnya adalah pemrosesan sinyal. Pemrosesan sinyal dilakukan oleh mikrokontroler Atmega32. Mikrokontroler ini dapat menerima data dari sensor kemudian akan memprosesnya dan mengkonversi data tersebut menjadi satuan yang diinginkan. Setelah diolah, untuk penampilan data digunakan LCD (*Liquid Crystal Display*) serta *interfacing* pada Visual Studio.



Gambar 3.5 Rangkaian MAX6675

Setelah *sensing element* dan *signal conditioning*, tahap selanjutnya adalah masuk ke *signal processing*. *Signal processing* dilakukan oleh mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega 32 yang diprogram dengan pemrograman CV AVR. *Signal processing* bekerja dengan *listing program* yang telah dibuat pada CAVR.. Program utama pada *listing program*

berfungsi sebagai penghitung nilai suhu yang terukur. Perhitungan dilakukan dengan cara mengkonversi nilai bit yang terbaca kedalam nilai tegangan, kemudian nilai tegangan dikonversi ke nilai temperatur. Hasil data dari pemrosesan sinyal akan ditampilkan oleh LCD (*Liquid Crystal Display*) seperti pada gambar 3.5



Gambar 3.6 Rangkaian Skematik LCD dan Mikrokontroler ATmega32

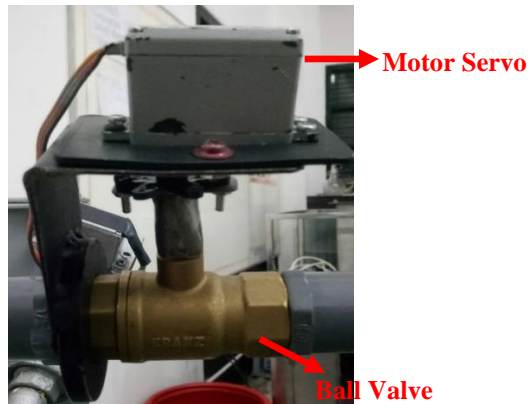
Display LCD adalah suatu *modul* penampil. Dalam hal ini LCD digunakan sebagai tampilan masukkan *set point* selanjutnya digunakan sebagai tampilan nilai *set point* dan nilai suhu yang dibaca oleh sensor termokopel pada pipa dalam (*tube*) *condenser*. LCD yang digunakan dalam *plant* pengendalian suhu ini adalah LCD 20 kolom x 4 baris.



Gambar 3.7 Penempatan LCD untuk *Display* Suhu

Apabila sensor berfungsi untuk melakukan pengukuran telah sesuai dengan rancangan yang telah dibuat, tahap selanjutnya

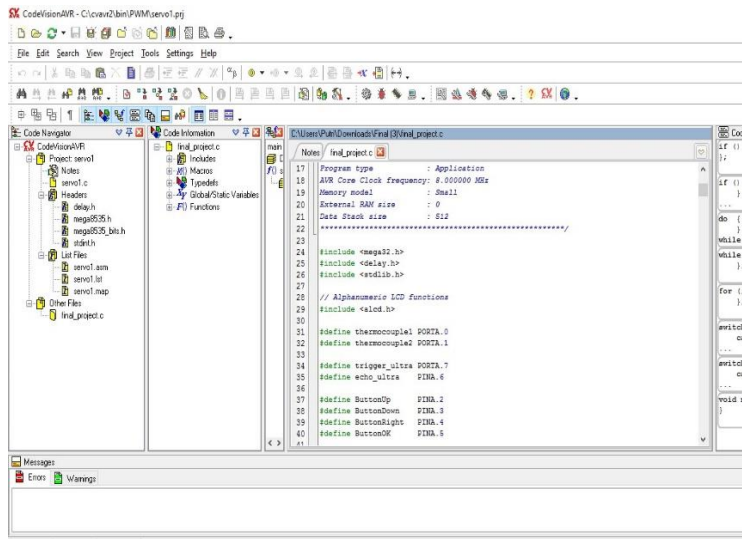
adalah perancangan aktuator. Aktuator yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *motor servo* MG996 yang telah dikopel dengan *ball valve*. *Motor servo* digunakan untuk mengatur posisi bukaan *ball valve* secara otomatis. Aktuator ini dipasang pada saluran pipa input *annular* dari *condenser*. Dalam *plant condenser* ini, aktuator berfungsi untuk mengatur *mass flow rate* yang akan mengalir dan disirkulasikan pada ruang *annular*.



Gambar 3.8 *Ball Valve* Dikopel Dengan Servo MG996

a. Perancangan dan Pembuatan *Software*

Perancangan *software* pada tahap ini merupakan siklus gabungan untuk rangkaian pemrosesan sinyal. Rangkaian pemrosesan sinyal pada alat ini menggunakan mikrokontroler Atmega32. Untuk membuat program pada Atmega32, dibutuhkan *software* CodeVision AVR. Pada program ini, akan diberikan *listing program* untuk mengolah sinyal masukan. Sinyal masukan dari *sensing element*.



Gambar 3.9 Software CodeVision AVR

3.2.3 Integrasi *Hardware* dan *Software* Pemrograman

Ketika *listing* program sudah jadi maka dilakukan pengintegrasian antara *hardware* dengan *software*. Didalam *software* dilakukan penyamaan *Port Personal Computer (PC)* yang digunakan untuk melakukan proses *uploading* program yang ada ke mikro *chip* Atmega 32.

Penyesuaian *interface* antara *software* CV AVR dan *hardware* Atmega32 dapat dikonfigurasi melalui fitur COM. Jika sudah berhasil, maka hasil program dapat dilihat pada LCD.

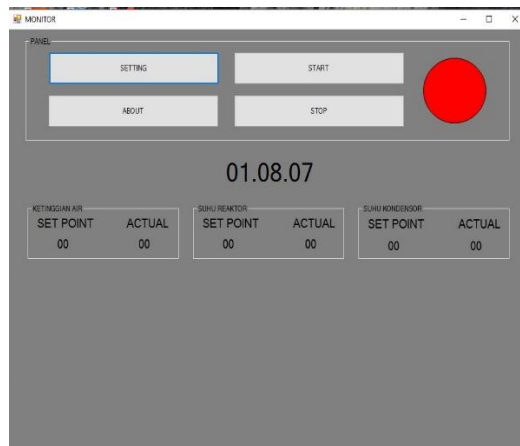
3.2.4 Pengujian Sistem Pengukuran dan Sistem Pengendalian

Pengujian sistem pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui sudah berjalankah atau belum hasil *uploading* program dari *software* CV AVR ke *hardware* Atmega32. *Sensing element* dicoba untuk mengukur. Apabila *sensing element* masih belum dapat menampilkan data, maka proses pemrograman dan integrasi *software* serta *hardware* perlu diulang. Sedangkan pengujian sistem pengendalian dilakukan untuk mengetahui

apakah sistem pengendalian ini dapat mencapai dan menjaga proses variabel agar sesuai dengan *setpoint*. Apabila sistem pengendalian tidak dapat membuat nilai proses variabel sesuai *setpoint*, maka proses pemrograman dan integrasi *software* serta *hardware* perlu diulang.

3.2.5 Pembuatan Desain tampilan di PC dengan Visual Studio 2015 serta media penyimpan database

Setelah dilakukan pengintegrasian *software programming* dan *hardware*, maka dilakukan pembuatan tampilan pada (*Personal Computer*) PC serta penyimpanan data secara *real time*. Pembuatan tampilan ini menggunakan *software* Visual Studio 2015. Pada dasarnya, Visual Studio ini digunakan untuk membuat *software* akuisisi data untuk sistem kontrol suhu dan untuk respon dari sistem pengendalian suhu *condenser*. Data yang akan ditampilkan secara *real time* adalah data pengukuran suhu dan juga respon sistem pengendalian. Desain yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.10 Desain *Software* dengan Visual Studio 2015

3.2.6 Integrasi *Hardware* Sistem kontrol dan akuisisi data

Setelah dibuat *program* di *Visual Studio 2015* kemudian dilakukan penghubungan antara program dengan *hardware* sistem kontrol yang telah dibuat sebelumnya.

3.2.7 Pengambilan Data Karakteristik dan Kalibrasi dan Performansi Sistem Pengendalian

Dalam tahap ini merupakan melihat spesifikasi yang dimiliki oleh sistem *monitoring* yang telah dibuat. Dimana dengan keterangan data tersebut dapat dilihat bagus atau tidaknya performansi karakter sistem pengendalian ini. Pada karakteristik statik alat yang dicari yaitu nilai *range*, *span*, *resolusi*, *sensitivitas*, *linieritas*, *hysteresis*, serta prosentase akurasi. Sedangkan untuk data kalibrasi digunakan untuk mencari nilai ketidakpastian dari hasil pengukuran ketika menggunakan perangkat ini. Untuk performansi sistem kontrol diambil data *setling time*, *maksimum overshoot*, *error steady state*.

3.2.8 Analisis Data dan Penarikan Kesimpulan

Kemudian ditahap terakhir terdapat analisis data yang dihasilkan dari pembuatan sistem Pengendalian suhu dilakukan penarikan kesimpulan dari semua elemen yang mempengaruhi data tersebut.

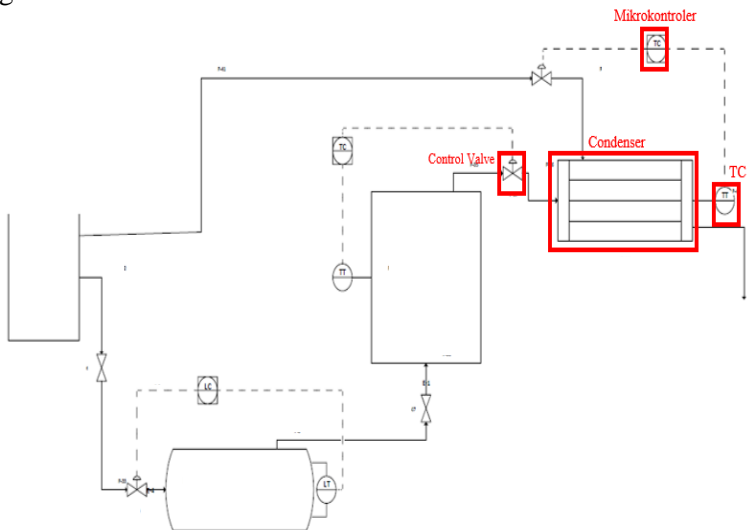
BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

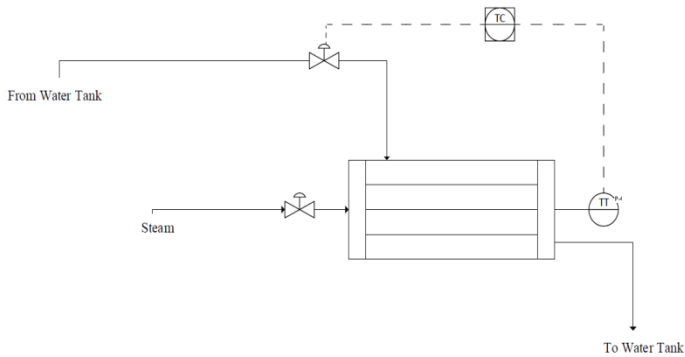
4.1 Analisis Data

4.1.1 Hasil Rancang Bangun

Penempatan sensor termokopel, *control valve* pada sistem pengendalian temperatur reaktor digambarkan oleh P&id pada gambar 4.1

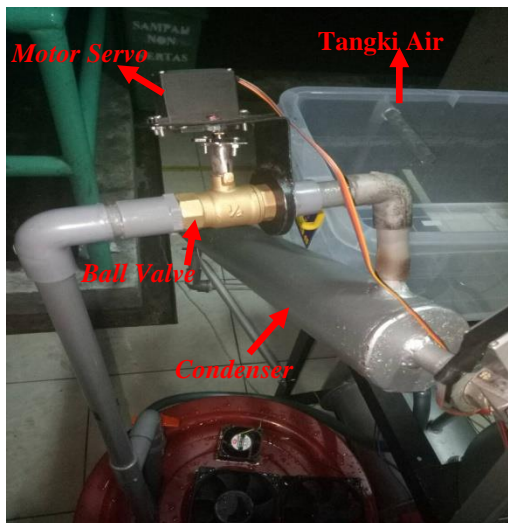


Gambar 4.1 P&ID Plant *Fluidized Bed Reactor* Pengolah *Oil Sludge*



Gambar 4.2 P&ID Condensor

Berikut ini merupakan hasil dari perancangan sistem pengendalian suhu *condensor* pada plant *fluidized bed reactor* pengolah *oil sludge* berbasis mikrokontroler yang telah dibuat ditunjukkan oleh gambar 4.3



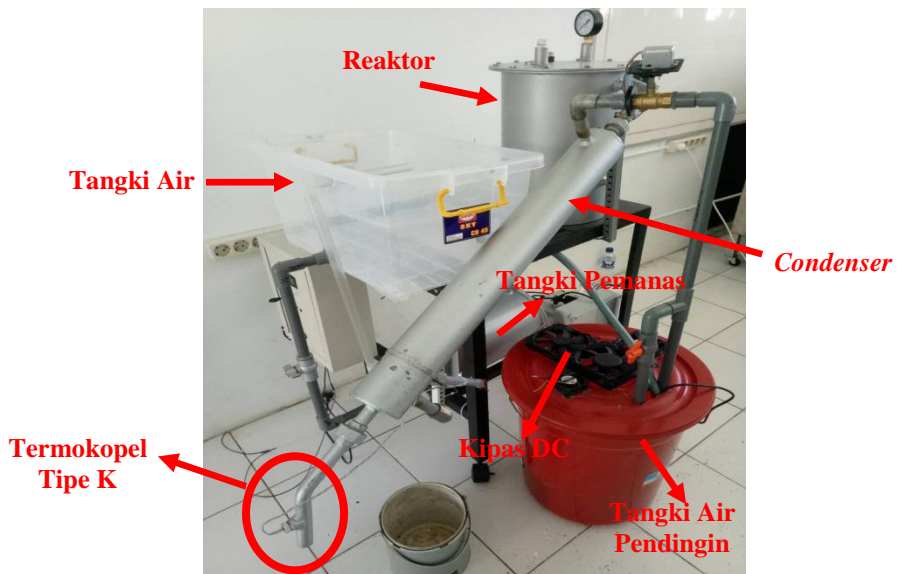
Gambar 4.3 Pemasangan Control Valve

Control valve diletakkan pada pipa saluran input ruang annulus yang akan diatur bukaannya yaitu apabila suhu belum mencapai *set point* maka *valve* akan membuka sedangkan ketika telah mencapai dan lebih dari nilai *set point* maka *valve* akan membuka.



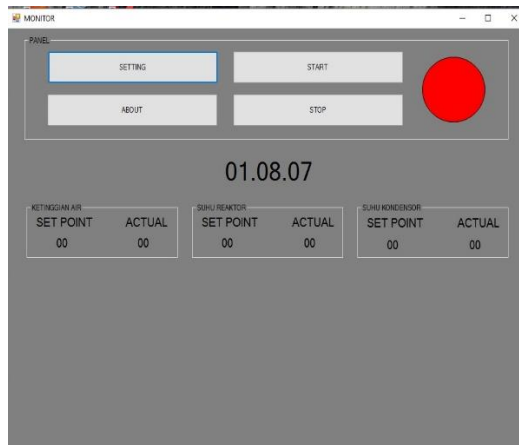
Gambar 4.4 Tampilan LCD pengukuran suhu *condenser*

Pada **Gambar 4.4** menunjukkan nilai temperatur fluida yang terukur di dalam *tube condenser* yang ditampilkan pada LCD 20x4 saat *fluidized bed reactor* pengolah *oil sludge* dijalankan.



Gambar 4.5 Pemasangan Sensor Termokopel

Termokopel tipe K dipasang pada bagian *outlet tube* dari *condenser* yang berfungsi mendeteksi temperatur fluida di dalam *tube condenser* yang dijelaskan oleh gambar 4.5



Gambar 4.6 Display Pembacaan dengan Visual Basic

Suhu data akuisisi dibuat untuk mengetahui respon sistem pengendalian temperatur pada *condenser*. Dalam data akuisisi ini terdapat *display* pengukuran dan penyimpanan data menggunakan software visual studio 2015.

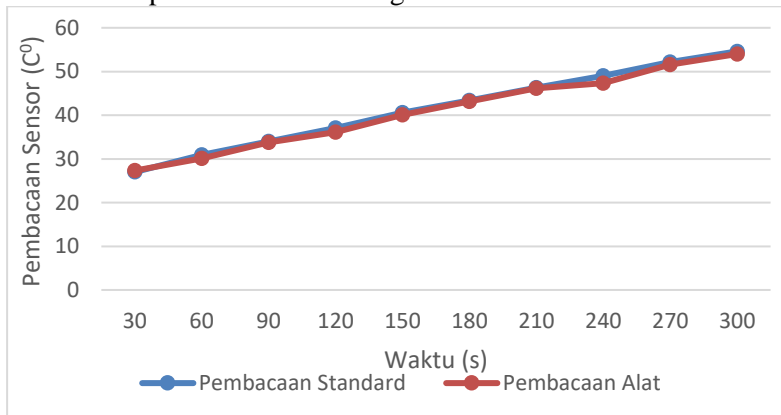
4.1.2 Pengujian Sensor Suhu Termokopel Tipe K

Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui sensitivitas sensor. Pengujian dilakukan pada rentang temperatur 27°C – $54,6^{\circ}\text{C}$. Pada setiap kenaikan, diambil data sebanyak 6 kali. Alat standar yang digunakan untuk pembanding adalah *Rotronic HygroPalm*. Berikut ini data yang diperoleh dari pengujian alat.

Tabel 4.1 Data Pengujian Alat Ukur Suhu

No	Standar (°C)	Alat (°C)	Error (°C)
1	27	27,33	-0,33
2	30,9	30,1	0,8
3	34	33,8	0,2
4	37,1	36,15	0,95
5	40,6	40,1	0,5
6	43,4	43,15	0,25
7	46,3	46,15	0,15
8	49	47,34	1,66
9	52,2	51,6	0,6
10	54,6	54	0,6

Dari Tabel 4.1 diatas, menghasilkan grafik pembacaan alat standar dan pembacaan alat sebagai berikut :

**Gambar 4.7** Grafik Pembacaan Alat Standar dan Pembacaan Alat

Dari gambar 4.7, menunjukkan bahwa pembacaan alat sudah mendekati dengan alat standar. Namun, terdapat beberapa titik yang masih terdapat *error* pembacaan.

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\Delta \text{Output}}{\Delta \text{Input}} = \frac{(54-27,33)}{(54,6-27)} = 0.966$$

4.1.3 Data Spesifikasi Alat

Berdasarkan data yang telah didapatkan dari pengujian alat, maka dapat diperoleh karakteristik dari alat ukur temperatur. Perhitungan karakteristik statik dari alat ukur temperatur sebagai berikut.

Tabel 4.2 Data Pengujian Naik dan Turun Sensor Termokopel

No	Standard (°C)	Pembacaan alat		H(i)	Non- Linearitas
		Naik	Turun		
1	27	27,33	27,16	-0,17	0
2	30,9	30,1	30,45	0,35	-0,9986
3	34	33,8	33,88	0,08	-0,2941
4	37,1	36,15	37,09	0,94	-0,9397
5	40,6	40,1	40,22	0,12	-0,3717
6	43,4	43,15	45,99	2,84	-0,0274
7	46,3	46,15	46,02	-0,13	0,1703
8	49	47,34	48,24	0,9	-1,2487
9	52,2	51,6	50,97	-0,63	-0,0809
10	54,6	54	53,35	-0,65	0

Sehingga menghasilkan karakteristik statik :

1. *Range* : 27°C – 54,6°C
2. *Span* : 27,6°C
3. *Resolusi* : 0,01 °C
4. *Non-linieritas* : 0,64%
5. *Akurasi* : 87,7%
6. *Kesalahan (error)* : 0,12

Berikut ini hasil perhitungan nilai karakteristik statik alat ukur temperatur berdasarkan data pada tabel 4.1

a. Sensitivitas (dari *datasheet* sensor termokopel tipe-K)

$$\text{Sensitivitas} = 41 \mu\text{V} / ^\circ\text{C}$$

b. Non-linieritas

$$(N(I)) = O(I) - (KI + a) \dots\dots\dots(4.1)$$

*data yang dihitung adalah data pembacaan suhu naik

Non – linieritas maksimum per unit :

$$= \frac{N}{O_{max} - O_{min}} \times 100\% \dots\dots\dots(4.2)$$

Dimana :

$$K (\text{sensitivitas}) = 0.9663$$

$$a (\text{zero bias}) = O_{\min} - KI_{\min}$$

$$a = 27,33 - (0.9663)(27)$$

$$a = 1,2398$$

sehingga :

Non-linieritas maksimum per unit

$$= \frac{0,17033}{54 - 27,33} \times 100\% = 0,64\%$$

c. Histerisis

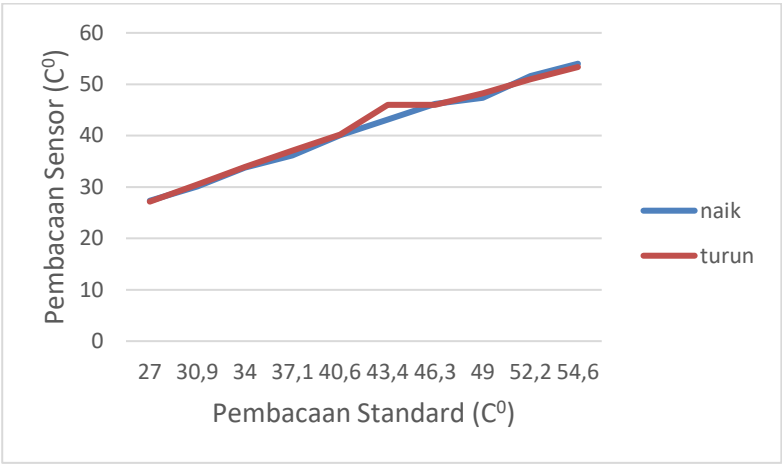
$$H(I) = O(I)_{I\downarrow} - O(I)_{I\uparrow}, \hat{H} = H(I)_{\max}, \text{ sehingga:}$$

$$\% \text{ Maksimum Histerisis} = \frac{\hat{H}}{O_{\max} - O_{\min}} \times 100\% \dots\dots\dots(4.3)$$

$$= \frac{2,84}{54 - 27,33} \times 100\%$$

$$= 10,6\%$$

Berikut gambar grafik histerisis dari data pengukuran sensor saat melakukan pembacaan naik dan pembacaan turun.



Gambar 4.8 Grafik Histerisis

d. Akurasi

$$A = 1 - \sum \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100\% \dots\dots\dots(4.4)$$

Dengan:
 Y_n = Pembacaan standar (I) dan
 X_n = Pembacaan alat (O)

$$\begin{aligned} A &= 1 - |0,1228| \times 100\% \\ &= 87,7\% \end{aligned}$$

e. Error

$$\begin{aligned} e &= 1 - A \dots\dots\dots(4.5) \\ e &= 1 - 0.88 \\ &= 0.12 \end{aligned}$$

Setelah diketahui karakteristik statik dari alat ukur temperatur, langkah berikutnya adalah kalibrasi alat ukur. Yang digunakan sebagai kalibrator adalah *Rotronic HygroPalm*. Berikut ini merupakan hasil pengukuran kalibrasi untuk mencari nilai ketidakpastian alat ukur.

Tabel 4.3 Data Kalibrasi

No	Standard (Xi)	Alat	Koreksi	Y regresi	Residu (R)	SSR
1	27	27,245	-0,245	-0,0786	-0,1664	0,0277
2	30,9	30,275	0,625	0,0381	0,5869	0,3445
3	34	33,84	0,16	0,1308	0,0292	0,0009
4	37,1	36,62	0,48	0,2236	0,2564	0,0658
5	40,6	40,16	0,44	0,3283	0,1117	0,0125
6	43,4	44,57	-1,17	0,4120	-1,5820	2,5029
7	46,3	46,085	0,215	0,4988	-0,2838	0,0805
8	49	47,79	1,21	0,5796	0,6304	0,3974
9	52,2	51,285	0,915	0,6753	0,2397	0,0575
10	54,6	53,675	0,925	0,7471	0,1779	0,0317
Jumlah	415,1	411,545	3,555			3,5212
Rata	41,51	41,1545	0,3555			0,3521

Berikut merupakan perhitungan ketidakpastian alat ukur berdasarkan tabel 4.3.

a. Nilai ketidakpastian tipe A

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}}{n-1} \dots \dots \dots (4.6)$$

Dimana :

$$\sigma = 0,6838$$

Sehingga nilai ketidakpastian tipe A adalah :

$$U_{a1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots(4.7)$$

$$U_{a1} = \frac{0,6838}{\sqrt{10}} = 0,2162$$

Sedangkan nilai ketidakpastian regresi U_{a2} adalah

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \dots\dots\dots(4.8)$$

Dimana :

SSR (*Sum Square Residual*) = ΣSR (*Square Residual*)

$SR = R^2$ (*Residu*)

Y_i (Nilai koreksi) = Pemb. standar (t_i) – Pemb. alat (x_i)

$$Y_{reg} = a + (b \times t_i) \dots\dots\dots(4.9)$$

$$a = \bar{y}_i - (b \times \bar{t}_i) \dots\dots\dots(4.10)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \dots\dots\dots(4.11)$$

Dimana:

x_i = *Pemb. standar*,

y_i = *Nilai koreksi*,

n = *Jumlah data*

$$b = \frac{(10 \times 170,544) - (415,1 \times 3,555)}{(10 \times 1799,883) - (415,1)^2}$$

$$= 0,0299$$

$$a = 0,3555 - (0,0299 \times 41,51) = -0,8863$$

Jadi, persamaan regresi menjadi :

$$Y_{\text{reg}} = (0,3555) + (x_i \times 0,0299)$$

Sehingga menghasilkan nilai $SSR = 3,5212$

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} = \sqrt{\frac{3,5212}{10-2}} = 0,6634$$

b. Nilai Ketidakpastian *Type B*:

Pada tipe ini terdapat 2 parameter ketidakpastian, yaitu ketidakpastian Resolusi (U_{b1}) dan Ketidakpastian alat standar *pressure gauge* (U_{b2}). Dengan perhitungan sebagai berikut:

$$U_{b1} = \frac{\frac{1}{2}x \text{ Resolusi}}{\sqrt{3}} = \frac{\frac{1}{2}x 0,01}{\sqrt{3}} = 0.0028$$

$U_{b2} = \frac{a}{k}$, pada alat standar terdapat sertifikat kalibrasinya maka nilai a (ketidakpastian sertifikat kalibrasi) dianggap mendekati 0, dan nilai faktor cakupan dianggap 2,0. Sehingga hasil : $U_{b2} = 0$

c. Nilai Ketidakpastian Kombinasi U_c

$$U_c = \sqrt{U_{a1}^2 + U_{a2}^2 + U_{b1}^2 + U_{b2}^2} \dots\dots\dots (4.12)$$

$$U_c = \sqrt{0.2162^2 + 0,6634^2 + 0.0028^2 + 0^2}$$

$$U_c = 0,6978$$

Dengan kondisi V atau derajat kebebasan dari kedua tipe ketidakpastian, sebagai berikut :

$V = n-1$, sehingga :

$V1 = 9$; $V2 = 9$; $V3 = \infty$; $V4 = 60$ (berdasarkan table *T-Student*)

Dengan nilai V_{eff} (Nilai derajat kebebasan efektif) sebagai berikut :

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum (U_i)^4 / V_i} \dots\dots\dots (4.13)$$

$$V_{eff} = \frac{(0,6978)^4}{(0,2126)^4/9 + (0,6634)^4/9 + (0,0028)^4/\infty + (0)^4/60}$$

$V_{eff} = 10,8913$, sehingga jika dibulatkan menjadi 11, dimana pada table *T-student* menghasilkan nilai k (faktor koreksi) sebesar 2,201

Oleh karena itu, hasil nilai ketidakpastian diperluang sebesar :

$$U_{exp} = k \times U_c \dots\dots\dots (4.14)$$

$$U_{exp} = 2,201 \times 0,6978 = 1,5358$$

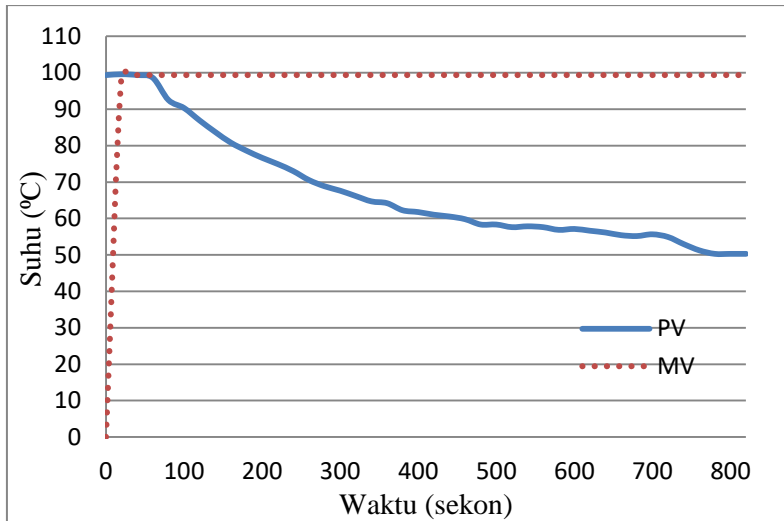
Sehingga berdasarkan perhitungan ketidakpastian diperluas diatas, menghasilkan nilai ketidakpastian alat sebesar $\pm 1,5358$ dengan tingkat kepercayaan 95% dari tabel *T-Student*. Nilai ketidakpastian tersebut akan menjadi acuan untuk pembacaan alat ukur selama alat ukut tersebut digunakan.

4.1.4 Pengujian Sistem Pengendalian Suhu Pada Condenser

Dari hasil pengujian rancang bangun sistem pengendalian suhu pada *condensor plant fluidized bed reactor* pengolahan *oil sludge* didapatkan grafik respon seperti dibawah ini.

a. Pengujian *Open Loop*

Pengujian *open loop* dilakukan untuk menguji performansi sistem tanpa kontroller. Pada pengujian *open loop* ini *control valve* membuka penuh sehingga terjadi aliran *mass flow rate* air pendingin maksimal. Adapun grafik respon *open loop* yang diperoleh ditunjukkan oleh gambar 4.9

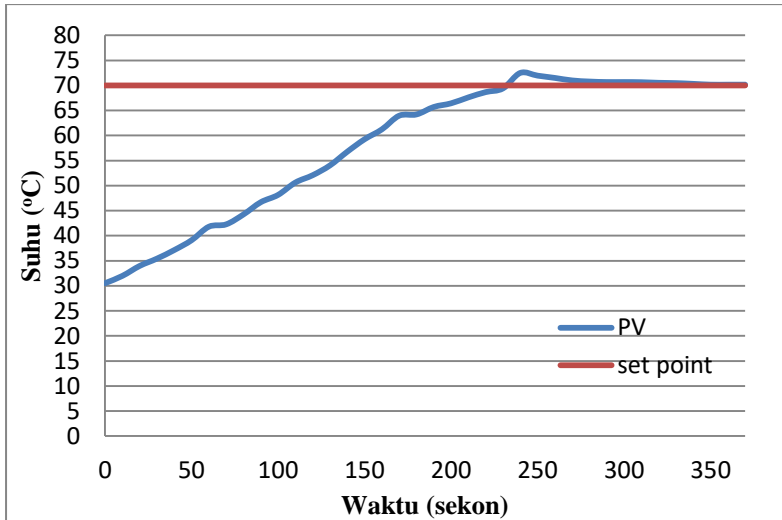


Gambar 4.9 Grafik respon *open loop* sistem pengendalian suhu

Dari grafik respon diatas menunjukkan bahwa dengan laju aliran air pendingin maksimum tanpa adanya kontrollernya, *temperature* pada *output* sistem berada pada 55,29 °C sementara *setpoint* yang diinginkan adalah 70 °C. Oleh sebab itu diperlukan suatu sistem *control* yang dapat menjaga sistem agar stabil sesuai dengan *set point*.

b. Pengujian *Close Loop*

Sistem kontrol dimana besaran nilai pembacaan sensor digunakan untuk menentukan aksi dari aktuatur agar menjaga *process variable* tetap dalam nilai yang diinginkan.

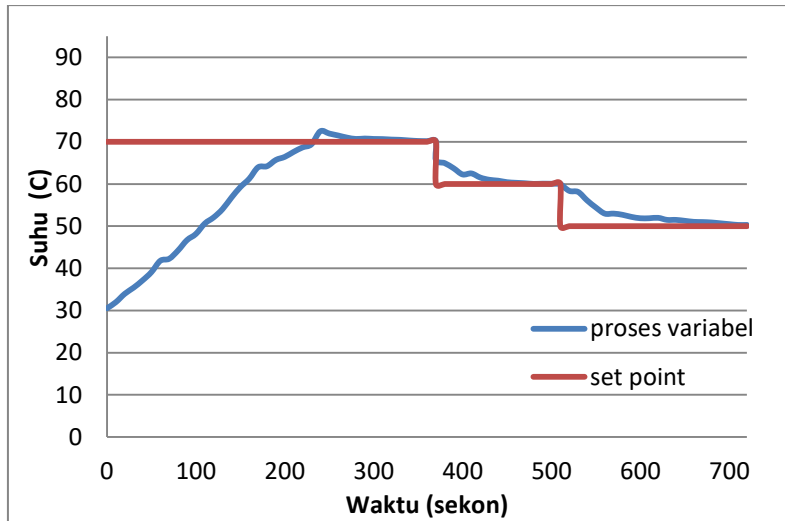


Gambar 4.10 Grafik respon sistem dengan *start up* 70°C

Dari **Gambar 4.10** dapat diketahui bahwa sistem kontrol yang telah dibuat pada saat sistem diberikan setpoint 70 °C. Sistem memiliki performansi yaitu *Settling time* sebesar 1 menit 30 detik, *Maksimum Overshoot* sebesar 0,78 °C, dan *Error steady state* rata-rata 0,459. Ini menunjukkan performansi aktuator dalam sistem berjalan mengendalikan dengan respon yang sesuai dengan *set point* yang dikehendaki.

c. Pengujian *Tracking Setpoint*

Pada pengujian *tracking setpoint* yang dilakukan pada hasil perancangan sistem ini adalah dengan cara mengubah nilai *setpoint* dari 70 °C menuju 60 °C kemudian ke 50 °C. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa cepat respon dari kontroller untuk mencapai *set point* ketika nilai *set point* dinaikkan/diturunkan. Berikut ini adalah respon dari uji *tracking setpoint* yang ditunjukkan oleh **Gambar 4.11** dimana sistem kontrol yang telah dibuat dapat mengejar nilai *setpoint* ketika diberikan perubahan nilai *setpoint*.



Gambar 4.11 Grafik tracking setpoint

Nilai *settling time*, *error steady state*, dan maksimum *overshoot* dari **Gambar 4.11** dapat dilihat bahwa sistem kontrol yang telah dibuat mampu melakukan *tracking setpoint*. Nilai dari karakteristik dinamik *tracking setpoint* dapat dilihat pada **Tabel 4.4**

Tabel 4.4 Nilai respon *tracking setpoint*

Nilai	Set Point		
	70 °C	60 °C	50 °C
Ts	1 menit 30 detik	1 menit 10 detik	50 detik
Mp	0,78 °C	0,79 °C	0,98 °C
Ess	0,94 °C	0,43 °C	0,17 °C

4.2 Pembahasan

Pada sistem pengendalian suhu *condenser plant fluidized bed reactor* pengolahan *oil sludge* ini *condenser* digunakan sebagai alat penukar panas yaitu sebagai pendingin untuk mengkonkondensasikan *steam* dan uap minyak yang berasal dari

reaktor. Uap minyak yang mengalir pada sisi *tube condenser* berkontak secara tidak langsung dengan fluida pendingin berupa air yang dialirkan pada ruang *annulus* sehingga panas *steam* dan uap minyak diserap oleh air kemudian uap minyak berubah menjadi kondensat yaitu campuran minyak mentah dan air.

Pada sistem pengendalian suhu ini menggunakan sensor termokopel tipe K dan modul MAX6675 sebagai pengkondisian sinyal, motor servo MG996 sebagai aktuator, Atmega 32 sebagai mikrokontroler, LCD 20x4 sebagai *display* hasil pengukuran dan *Software Visual Studio* sebagai penyimpanan database hasil pengukuran. Sensor yang digunakan telah dikalibrasi dengan pembanding alat standard *Rotronic HygroPalm*. Berdasarkan uji sensor yang telah dilakukan pada range $27^{\circ}\text{C} - 54,6^{\circ}\text{C}$ diperoleh nilai ketidakpastian pengukuran suhu dengan hasil $U_{a1} = 0.2162$, $U_{a2} = 0.6634$, $U_{b1} = 0.0028$, $U_{b2} = 0$ dan $U_c = 0.6978$. Sehingga berdasarkan perhitungan ketidakpastian diperluas tersebut menghasilkan nilai U_{expand} sebesar $\pm 1,5358$ dengan tingkat kepercayaan 87,7% dari tabel *T-Student*. Hasil dari perhitungan ketidakpastian tersebut akan menjadi acuan dari sensor termokopel baut tipe K yang akan digunakan. Sensor tersebut memiliki karakteristik statik diantaranya resolusi sebesar 0.01, sensitivitas 0.96°C , error 0,12 dan akurasi sebesar 87,7%. Aktuator yang dikendalikan adalah posisi bukaan valve yang digerakkan oleh servo untuk mengatur debit air yang akan dialirkan pada ruang *annulus condenser* agar suhu uap minyak pada *tube* mengalami penurunan dan terjaga pada set point 70°C sehingga dapat terkondensasi dengan baik menjadi minyak mentah. Dari pembacaan sensor termokopel yang diproses oleh mikrokontroler yang akan memberikan sebuah sinyal kontrol terhadap aktuator yang berupa *servo* untuk mengejar *setpoint* yang bernilai 70°C . Ketika suhu yang terukur pada sisi *tube condenser* kurang dari set point maka valve akan menutup, ketika suhu yang terukur telah mencapai dan lebih dari nilai set point maka valve akan membuka penuh.

Berdasarkan data yang diperoleh dapat diketahui bahwa terjadi penurunan suhu uap minyak saat berkontak secara tidak

langsung dengan air pendingin yang dialirkan pada ruang *annulus*. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan sistem pengendalian suhu *condenser* dengan set point 70°C ini memiliki performansi yaitu *Settling time* sebesar 1 menit 30 detik, *Maksimum Overshoot* sebesar 0,78 °C, dan *Error steady state rata-rata* 0,459. Respon dari sistem pengendalian *condenser* ini dapat dilihat pada gambar grafik respon **Gambar 3.10**.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil penelitian tugas akhir yang sudah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Telah berhasil dibuat sistem pengendalian suhu pada *condenser plant fluidized bed reactor* pengolahan *oil sludge*.
2. Pada plant pengendalian suhu digunakan sensor termokopel tipe K yang merupakan sensor suhu yang telah terkalibrasi dengan sensitivitas sebesar $41 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ dan *error* sebesar 0,12.
3. Pada *setpoint* 70°C sistem pengendalian suhu condenser memiliki nilai *settling time* sebesar 1 menit 30 detik, *maksimum overshoot* sebesar $0,78^{\circ}\text{C}$, dan *error steady state* rata-rata $0,459^{\circ}\text{C}$.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa saran diantaranya sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan kalibrasi terhadap sensor termokopel tipe K yang akan digunakan agar diperoleh hasil pengukuran yang akurat dan linier.
2. Dapat dilakukan pengendalian suhu dengan metode PID agar mendapatkan respon yang lebih baik.
3. Penggunaan aktuator sebaiknya tidak menggunakan motor servo untuk sistem pengendalian ON-OFF.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Keputusan Direksi Pertamina No Kpts-074/C00000/2001-SO Tentang Pedoman Pengelolaan Limbah Sludge Minyak Pada Kegiatan Operasi Pertamina.
- [2] Kelompok Peneliti Lingkungan Industri Migas, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi “LEMIGAS”, 1999.
- [3] Palar, Heryando, 1994. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat, PT. Rineka Cipta, Jakarta.
- [4] Syahfrizal, Rani, Devitra Saka, Rahayu, 2010. Pemanfaatan Sufaktan dalam Pengolahan Limbah Berminyak secara Bioproses, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia, Yogyakarta.
- [5] Lely Kojayanti, Martinus dkk. 2014. Reaksi Jamak pada *Fluidized Bed Membran Reactor*. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [6] Dr. Santoso Soekirno. Pendahuluan Sensor Temperatur. 2009. Departemen Fisika. Fakultas MIPA. Universitas Indonesia.
- [7] F. Reif, 2000. *Fundamentals of Statistical and Thermal Physics*.: McGraw-Hill, Inc.. p. 66. ISBN 0-07-Y85615-X. Singapore.
- [8] <http://wapedia.mobi/id/Panas> [05 Juni 2017]
- [9] <http://Omega.com> (2006), *Thermocouple Introduction and Theory*, US.
- [10] Data sheet acquired from Datasheet.com. ICs-8100B
- [11] Data sheet acquired from Harris Semiconductor. 1998. *Type K Table C*, Texas Instruments Incorporated, Texas.
- [12] MAX6675 (2015). Cold Junction Compensated K-Thermocouple to Digital Converter (0°C to +1024°C). <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX6675.pdf>
- [14] <http://digilib.polban.ac.id/files/disk1/97/jbptppolban-gdl-donnydwipr-4814-3-bab2--1.pdf> [05 Juni 2017]

- [15] <http://akbarulhuda.wordpress.com/2010/04/01/mengenal-motor-servo> [5 Juni 2017]
- [16] <http://repository.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/37075/Chapter%20II.pdf?sequence=4> [5 Juni 2017]
- [17] <http://repository.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/23978/Chapter%20II.pdf?sequence=3&isAllowed=y> [5 Juni 2017]
- [18] <http://www.atmel.com> [5 Juni 2017]
- [19] Manalu, M., I., A. 2014. Perancangan Alat Ukur Konduktivitas Air (*Conductivity Meter*) *Digital* dengan Sensor Resistif. USU, Medan.
- [20] Gunterus, F. 1994. Falsafah Dasar : Sistem Pengendalian Proses. Elex media Komputindo, Jakarta.
- [21] <http://www.mohtaufik.com/2015/01/ketidakpastian-analisis-kuantitatif.html> [5 Juni 2017]
- [22] Asy'ari, M., K. 2014. Kalibrasi *Flow Meter* dalam Aliran Fluida pada Sistem *Manifold*. Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi, Jurusan Teknik Fisika, FTI-ITS, Surabaya.
- [23] Laboratorium Pengukuran Fisis. 2013. Modul Teknik Pengukuran dan Kalibrasi. Teknik Fisika, FFI-ITS, Surabaya.

LAMPIRAN A
(LISTING PROGRAM PADA CODE VISION AVR)

This program was produced by the
CodeWizardAVR V2.05.3 Standard
Automatic Program Generator
© Copyright 1998-2011 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
<http://www.hpinfotech.com>

Project :
Version :
Date : 7/18/2016
Author : Windows User
Company :
Comments:

Chip type : ATmega8535
Program type : Application
AVR Core Clock frequency: 4,000000 MHz
Memory model : Small
External RAM size : 0
Data Stack size : 128

```
#include <mega32.h>
#include <delay.h>
#include <stdlib.h>
```

```
// Alphanumeric LCD functions
#include <alcd.h>
```

```
#define thermocouple1 PORTA.0
#define thermocouple2 PORTA.1
#define trigger_ultra PORTA.7
#define echo_ultra PINA.6
#define ButtonUp PINA.2
#define ButtonDown PINA.3
#define ButtonRight PINA.4
#define ButtonOK PINA.5
```

```

#include "serial.c"
// Declare your global variables here
unsigned char x, servo_ultra, servo_ther1, servo_ther2;
float suhu1, suhu2;
int flag_set,set=0, state;
float suhu;
//ketinggian1,ketinggian=0.0;
Int setpoint_ketinggian = 10, setpoint_suhu1=100,
setpoint_suhu2=70; //setpoint default
int setpoint_suhu11,setpoint_suhu22,setpoint_ketinggiann;
unsigned char lcd_buffer1[16], lcd_buffer2[16], lcd_buffer3[16],
lcd_buffer4[16];
unsigned char cetak_s1[16],cetak_s2[16],cetak_s3[16];
enum menu{t1,s1,s2};

#include <stdio.h>
//kontrol servo
// Timer 0 overflow interrupt service routine
interrupt [TIM0_OVF] void timer0_ovf_isr(void)
{
// Reinitialize Timer 0 value
TCNT0=0xB2;
// Place your code here
    x++;

    if(x>=servo_ultra)PORTB.0 = 0;
    else PORTB.0 = 1;
    if(x>=servo_ther1)PORTB.1 = 0;
    else PORTB.1 = 1;
    if(x>=servo_ther2)PORTB.2 = 0;
    else PORTB.2 = 1;

    if(x>=255){x=0;}
}
// SPI functions

#include <spi.h>
void read_thermocouple(){
    unsigned int baca_suhu;
    baca_suhu = (unsigned) spi(0)<<8; //baca byte MSB

```

```

//baca LSB dengan SPI dan gabungkan dengan MSB
baca_suhu |= spi(0);
thermocouple1 = 1; //baca sensor dimatikan
thermocouple2 = 1;
delay_ms(200);
if(ButtonOK==0){flag_set++; delay_ms(1000);
set=flag_set%2;}
//hitung tegangan dalam mV
suhu = (((float)baca_suhu*5000)/4096)/40;
}

//pengaturan tampil 3 digit value
void digit_3(int a, int xx, int yy){
if(a >= 100){lcd_gotoxy(xx,yy);}
if(a < 100 && a >= 10){lcd_gotoxy(xx,yy); lcd_puts(" ");
lcd_gotoxy(xx+1,yy);}
if(a < 10) {lcd_gotoxy(xx,yy); lcd_puts(" "); lcd_gotoxy(xx+2,yy);}
}
void main(void)
{
// Declare your local variables here
// Input/Output Ports initialization
// Port A initialization
// Function: Bit7=Out Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In
Bit1=Out Bit0=Out
DDRA=(1<<DDA7) | (0<<DDA6) | (0<<DDA5) | (0<<DDA4) |
(0<<DDA3) | (0<<DDA2) | (1<<DDA1) | (1<<DDA0);
// State: Bit7=0 Bit6=0 Bit5=P Bit4=P Bit3=P Bit2=P Bit1=0 Bit0=0
PORTA=(0<<PORTA7) | (0<<PORTA6) | (1<<PORTA5) |
(1<<PORTA4) | (1<<PORTA3) | (1<<PORTA2) | (0<<PORTA1) |
(0<<PORTA0);

// Port B initialization
// Function: Bit7=Out Bit6=In Bit5=Out Bit4=Out Bit3=In Bit2=Out
Bit1=Out Bit0=Out
DDRB=(1<<DDB7) | (0<<DDB6) | (1<<DDB5) | (1<<DDB4) |
(0<<DDB3) | (1<<DDB2) | (1<<DDB1) | (1<<DDB0);
// State: Bit7=0 Bit6=T Bit5=0 Bit4=0 Bit3=T Bit2=0 Bit1=0 Bit0=0

```

```
PORTB=(0<<PORTB7) | (0<<PORTB6) | (0<<PORTB5) |  
(0<<PORTB4) | (0<<PORTB3) | (0<<PORTB2) | (0<<PORTB1) |  
(0<<PORTB0);
```

```
// Port C initialization
```

```
// Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In Bit1=In  
Bit0=In
```

```
DDRC=(0<<DDC7) | (0<<DDC6) | (0<<DDC5) | (0<<DDC4) |  
(0<<DDC3) | (0<<DDC2) | (0<<DDC1) | (0<<DDC0);
```

```
// State: Bit7=T Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=T Bit0=T
```

```
PORTC=(0<<PORTC7) | (0<<PORTC6) | (0<<PORTC5) |  
(0<<PORTC4) | (0<<PORTC3) | (0<<PORTC2) | (0<<PORTC1) |  
(0<<PORTC0);
```

```
// Port D initialization
```

```
// Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In Bit1=In  
Bit0=In
```

```
DDRD=(0<<DDD7) | (0<<DDD6) | (0<<DDD5) | (0<<DDD4) |  
(0<<DDD3) | (0<<DDD2) | (0<<DDD1) | (0<<DDD0);
```

```
// State: Bit7=T Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=T Bit0=T
```

```
PORTD=(0<<PORTD7) | (0<<PORTD6) | (0<<PORTD5) |  
(0<<PORTD4) | (0<<PORTD3) | (0<<PORTD2) | (0<<PORTD1) |  
(0<<PORTD0);
```

```
// Timer/Counter 0 initialization
```

```
// Clock source: System Clock
```

```
// Clock value: 1000.000 kHz
```

```
// Mode: Normal top=0xFF
```

```
// OC0 output: Disconnected
```

```
// Timer Period: 0.078 ms
```

```
TCCR0=(0<<WGM00) | (0<<COM01) | (0<<COM00) | (0<<WGM01) |  
(0<<CS02) | (1<<CS01) | (0<<CS00);
```

```
TCNT0=0xB2;
```

```
OCR0=0x00;
```

```
// Timer/Counter 1 initialization
```

```
// Clock source: System Clock
```

```
// Clock value: Timer1 Stopped
```

```
// Mode: Normal top=0xFFFF
```

```
// OC1A output: Disconnected
```



```

// OC1B output: Disconnected
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=(0<<COM1A1) | (0<<COM1A0) | (0<<COM1B1) |
(0<<COM1B0) | (0<<WGM11) | (0<<WGM10);
TCCR1B=(0<<ICNC1) | (0<<ICES1) | (0<<WGM13) | (0<<WGM12) |
(0<<CS12) | (0<<CS11) | (0<<CS10);
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer2 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0<<AS2;
TCCR2=(0<<PWM2) | (0<<COM21) | (0<<COM20) | (0<<CTC2) |
(0<<CS22) | (0<<CS21) | (0<<CS20);
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=(0<<OCIE2) | (0<<TOIE2) | (0<<TICIE1) | (0<<OCIE1A) |
(0<<OCIE1B) | (0<<TOIE1) | (0<<OCIE0) | (1<<TOIE0);

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
// INT2: Off
MCUCR=(0<<ISC11) | (0<<ISC10) | (0<<ISC01) | (0<<ISC00);

```

```
MCUCSR=(0<<ISC2);
```

```
// USART initialization
```

```
// Communication Parameters: 8 Data, 1 Stop, No Parity
```

```
// USART Receiver: On
```

```
// USART Transmitter: On
```

```
// USART Mode: Asynchronous
```

```
// USART Baud Rate: 9600
```

```
UCSRA=(0<<RXC) | (0<<TXC) | (0<<UDRE) | (0<<FE) | (0<<DOR) |  
(0<<UPE) | (0<<U2X) | (0<<MPCM);
```

```
UCSRB=(1<<RXCIE) | (0<<TXCIE) | (0<<UDRIE) | (1<<RXEN) |  
(1<<TXEN) | (0<<UCSZ2) | (0<<RXB8) | (0<<TXB8);
```

```
UCSRC=(1<<URSEL) | (0<<UMSEL) | (0<<UPM1) | (0<<UPM0) |  
(0<<USBS) | (1<<UCSZ1) | (1<<UCSZ0) | (0<<UCPOL);
```

```
UBRRH=0x00;
```

```
UBRRL=0x33;
```

```
// Analog Comparator initialization
```

```
// Analog Comparator: Off
```

```
// The Analog Comparator's positive input is
```

```
// connected to the AIN0 pin
```

```
// The Analog Comparator's negative input is
```

```
// connected to the AIN1 pin
```

```
ACSR=(1<<ACD) | (0<<ACBG) | (0<<ACO) | (0<<ACI) | (0<<ACIE) |  
(0<<ACIC) | (0<<ACIS1) | (0<<ACIS0);
```

```
SFIOR=(0<<ACME);
```

```
// ADC initialization
```

```
// ADC disabled
```

```
ADCSRA=(0<<ADEN) | (0<<ADSC) | (0<<ADATE) | (0<<ADIF) |  
(0<<ADIE) | (0<<ADPS2) | (0<<ADPS1) | (0<<ADPS0);
```

```
// SPI initialization
```

```
// SPI Type: Master
```

```
// SPI Clock Rate: 2764.800 kHz
```

```
// SPI Clock Phase: Cycle Start
```

```
// SPI Clock Polarity: Low
```

```
// SPI Data Order: MSB First
```

```
SPCR=(0<<SPIE) | (1<<SPE) | (0<<DORD) | (1<<MSTR) | (0<<CPOL)  
| (0<<CPHA) | (0<<SPR1) | (0<<SPR0);
```

```

SPSR=(0<<SPI2X);

// TWI initialization
// TWI disabled
TWCR=(0<<TWEA) | (0<<TWSTA) | (0<<TWSTO) | (0<<TWEN) |
(0<<TWIE);

// Alphanumeric LCD initialization
// Connections are specified in the
// Project|Configure|C Compiler|Libraries|Alphanumeric LCD menu:
// RS - PORTC Bit 0
// RD - PORTC Bit 1
// EN - PORTC Bit 2
// D4 - PORTC Bit 4
// D5 - PORTC Bit 5
// D6 - PORTC Bit 6
// D7 - PORTC Bit 7
// Characters/line: 20
lcd_init(20);
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_puts("----TUGAS AKHIR----");
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_puts("|  PENGOLAHAN  |");
lcd_gotoxy(0,2);
lcd_puts("|  OIL SLUDGE  |");
lcd_gotoxy(0,3);
lcd_puts("-----");

delay_ms(3000);
state=t1;
lcd_clear();
// Global enable interrupts
#asm("sei")

while (1)
{
if(start==1){ //connect PC
//if(start==0){ //untuk monitoring tanpa PC.
// Place your code here

```

```

    if(ButtonOK==0){ flag_set++;   delay_ms(1000);   set=flag_set%2;}
//button OK ditekan
    lcd_gotoxy(1,1);
    lcd_puts("LEVEL =");
    lcd_gotoxy(1,2);
    lcd_puts("SUHU R =");
    lcd_gotoxy(1,3);
    lcd_puts("SUHU C =");
    lcd_gotoxy(17,1);
    lcd_puts("cm");
    lcd_gotoxy(17,2);
    sprintf(lcd_buffer1, "%cC",0xDF);
    lcd_puts(lcd_buffer1);
    lcd_gotoxy(17,3);
    sprintf(lcd_buffer1, "%cC",0xDF);
    lcd_puts(lcd_buffer1);
    lcd_gotoxy(16,3);
    lcd_puts(" ");
    //=====
konfigurasi setpoint=====
    if(set==1){
        lcd_gotoxy(0,0);
        lcd_puts("-#- SETPOINT -#-");
        digit_3(setpoint_ketinggian, 10, 1);
        ftoa(setpoint_ketinggian,2,lcd_buffer4);
        lcd_puts(lcd_buffer4);
        digit_3(setpoint_suhu1, 10, 2);
        ftoa(setpoint_suhu1,2,lcd_buffer2);
        lcd_puts(lcd_buffer2);
        digit_3(setpoint_suhu2, 10,3);
        ftoa(setpoint_suhu2,2,lcd_buffer3);
        lcd_puts(lcd_buffer3);
        switch(state)
        {
            case t1:
                lcd_gotoxy(0,1);lcd_puts(">");
                lcd_gotoxy(0,2);lcd_puts(" ");
                lcd_gotoxy(0,3);lcd_puts(" ");

```

```

if(ButtonUp!=1 && setpoint_ketinggian<10){ setpoint_ketinggian++;delay_ms(300);}
if(ButtonDown!=1 && setpoint_ketinggian>5){setpoint_ketinggian--;delay_ms(300);}
if(ButtonRight!=1){state=s1;delay_ms(1000);} break;
    case s1:
        lcd_gotoxy(0,1);lcd_puts(" ");
        lcd_gotoxy(0,2);lcd_puts(">");
        lcd_gotoxy(0,3);lcd_puts(" ");
if(ButtonUp!=1 && setpoint_suhu1<200){setpoint_suhu1++;delay_ms(300);} //maks setpoint r =250 (ubah angka)
if(ButtonDown!=1 && setpoint_suhu1>20){setpoint_suhu1--;delay_ms(300);} //maks setpoint r =100 (ubah angka)
if(ButtonRight!=1){state=s2;delay_ms(1000);} break;
    case s2:
        lcd_gotoxy(0,1);lcd_puts(" ");
        lcd_gotoxy(0,2);lcd_puts(" ");
        lcd_gotoxy(0,3);lcd_puts(">");

if(ButtonUp!=1 && setpoint_suhu2<100){setpoint_suhu2++;delay_ms(300);}
if(ButtonDown!=1 && setpoint_suhu2>20){setpoint_suhu2--;delay_ms(300);}
if(ButtonRight!=1){state=t1;delay_ms(1000);} break;
    }
}

//=====monitoring suhu dan kontrol=====
if(set==0){
    setpoint_suhu11= setpoint_suhu1*50/100;
    setpoint_suhu22= setpoint_suhu2*5/100;
    setpoint_ketinggiann= setpoint_ketinggian*50/100;

    lcd_gotoxy(0,1); lcd_puts(" ");
    lcd_gotoxy(0,2); lcd_puts(" ");
    lcd_gotoxy(0,3); lcd_puts(" ");
    lcd_gotoxy(0,0);
    lcd_puts("-#- ACTUAL -#-");

```

```

//baca sensor suhu1 dan tampil lcd
thermocouple1 = 0;
thermocouple2 = 1;
read_thermocouple();
suhu1=suhu;
digit_3(suhu1, 10, 2);
ftoa(suhu1,2,lcd_buffer2);
lcd_puts(lcd_buffer2);

//baca sensor suhu2 dan tampil lcd
thermocouple1 = 1;
thermocouple2 = 0;
read_thermocouple();
suhu2=suhu+0,7; //(suhu+1.8)*0.9593+1.0159; //kalibrasi suhu2
digit_3(suhu2, 10, 3);
ftoa(suhu2,2,lcd_buffer3);
lcd_puts(lcd_buffer3);

//baca sensor ketinggian dan tampil lcd
//  read_ultrasonic();
//  ketinggian1=ketinggian; //kalibrasi ketinggian
//  if(ketinggian1>1000){}
//  else{
//      if(ketinggian1<=0) ketinggian1=0;
//      digit_3(ketinggian1, 10, 1);
//      ftoa(ketinggian1,2,lcd_buffer4);
//      lcd_puts(lcd_buffer4);
//  }
//kontrol servo ketinggian
//  if(ketinggian1 < setpoint_ketinggian){ //kurang dari setpoint
//      if(PINA.6 == 0){
//          //buka servo
//          servo_ultra = 9;
//          //delay_ms(100);
//          //lcd_clear();
//          lcd_gotoxy(11,1);
//          lcd_puts("00.00");
//      }
//      else{ //tutup servo
//          servo_ultra = 31;

```

```

//      lcd_gotoxy(11,1);
//      digit_3(setpoint_ketinggian, 10, 1);
//      ftoa(setpoint_ketinggian,2,lcd_buffer4);
//      lcd_puts("10.00");
//      delay_ms(10);
//      lcd_clear();
//      lcd_gotoxy(11,1);
//      digit_3(setpoint_ketinggian, 10, 1);
//      ftoa(setpoint_ketinggian,2,lcd_buffer4);
//      lcd_puts("10.00");
    }

    //kontrol servo suhu1
    if(suhu1 <= setpoint_suhu1){
        //tutup servo
        servo_ther1 = 25;
    }
    // else if(suhu1 > setpoint_suhu11 && suhu1 <= setpoint_suhu1)
    // { //suhu berada diantara setpoint dan 50% dari setpoint
    //      servo_ther1 = 24 - (15/((setpoint_suhu1-
setpoint_suhu11)/(suhu1-setpoint_suhu11)));
    // }
    else
    { //buka servo
        servo_ther1 = 7;
    }
    //kontrol servo suhu2
    if(suhu2 < (setpoint_suhu2)){ //-setpoint_suhu22)){
        //tutup servo
        servo_ther2 = 31,5;
    }
    else
    {
        //buka servo
        servo_ther2 = 19;//
    }
    //=====tampil ke PC=====
    printf("%s",lcd_buffer2);
    putchar(',');
    printf("%s",lcd_buffer3);

```

```

    putchar(',');
    ftoa(setpoint_ketinggian,2,cetak_s3);
    //if(PINA.6==1) printf("%s",cetak_s3);
    //else puts("0.00");
    putchar(',');
    ftoa(setpoint_suhu1,2,cetak_s1);
    printf("%s",cetak_s1);
    putchar(',');
    ftoa(setpoint_suhu2,2,cetak_s2);
    printf("%s",cetak_s2);
    putchar(',');
    printf("%s",cetak_s3);
    putchar(13);
    putchar(10);
    //=====
}
}
else{lcd_clear(); lcd_gotoxy(0,0); lcd_putsf("Connect PC");}
}
}

```


LAMPIRAN B (Datasheet)

• Datasheet Mikrokontroler Atmega 32

Features

- High-performance, Low-power Atmel® AVR® 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory segments
 - 32Kbytes of In-System Self-programmable Flash program memory
 - 1024Bytes EEPROM
 - 2Kbytes Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface
 - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
 - Extensive On-chip Debug Support
 - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Four PWM Channels
 - 8-channel, 10-bit ADC
 - 8 Single-ended Channels
 - 7 Differential Channels in TQFP Package Only
 - 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x
 - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated RC Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 32 Programmable I/O Lines
 - 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, and 44-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
 - 2.7V - 5.5V for ATmega32L
 - 4.5V - 5.5V for ATmega32
- Speed Grades
 - 0 - 8MHz for ATmega32L
 - 0 - 16MHz for ATmega32
- Power Consumption at 1MHz, 3V, 25°C
 - Active: 1.1mA
 - Idle Mode: 0.35mA
 - Power-down Mode: < 1µA



8-bit AVR®
Microcontroller
with 32KBytes
In-System
Programmable
Flash

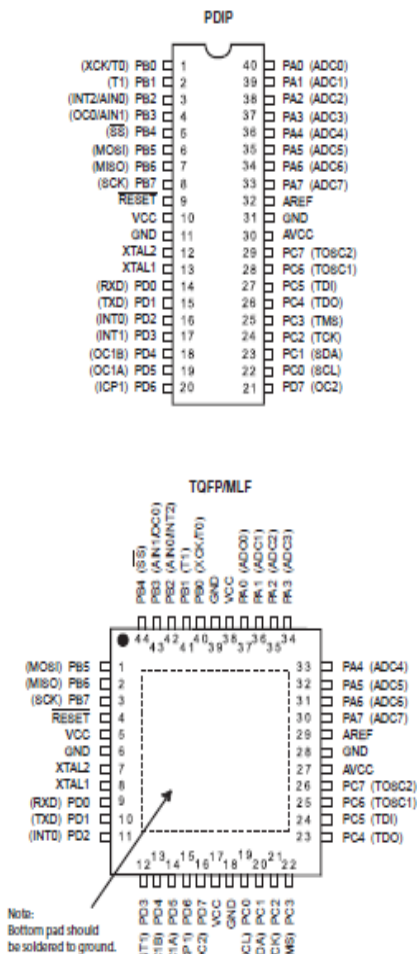
ATmega32
ATmega32L

2503Q-AVR1-02/11



Pin Configurations

Figure 1. Pinout ATmega32



The Atmel®AVR®AVR core combines a rich Instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega32 provides the following features: 32Kbytes of In-System Programmable Flash Program memory with Read-While-Write capabilities, 1024bytes EEPROM, 2Kbyte SRAM, 32 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, a JTAG interface for Boundary-scan, On-chip Debugging support and programming, three flexible Timer/Counters with compare modes, Internal and External Interrupts, a serial programmable USART, a byte oriented Two-wire Serial Interface, an 8-channel, 10-bit ADC with optional differential Input stage with programmable gain (TQFP package only), a programmable Watchdog Timer with Internal Oscillator, an SPI serial port, and six software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the USART, Two-wire Interface, A/D Converter, SRAM, Timer/Counters, SPI port, and Interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next External Interrupt or Hardware Reset. In Power-save mode, the Asynchronous Timer continues to run, allowing the user to maintain a timer base while the rest of the device is sleeping. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except Asynchronous Timer and ADC, to minimize switching noise during ADC conversions. In Standby mode, the crystal/resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low-power consumption. In Extended Standby mode, both the main Oscillator and the Asynchronous Timer continue to run.

The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system through an SPI serial interface, by a conventional nonvolatile memory programmer, or by an On-chip Boot program running on the AVR core. The boot program can use any interface to download the application program in the Application Flash memory. Software in the Boot Flash section will continue to run while the Application Flash section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATmega32 is a powerful microcontroller that provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The Atmel AVR ATmega32 is supported with a full suite of program and system development tools including: C compilers, macro assemblers, program debugger/simulators, In-circuit emulators, and evaluation kits.

Pin Descriptions

VCC Digital supply voltage.

GND Ground.

Port A (PA7..PA0) Port A serves as the analog inputs to the A/D Converter.

Port A also serves as an 8-bit bi-directional I/O port. If the A/D Converter is not used, Port pins can provide internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port A output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. When pins PA0 to PA7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current if the internal pull-up resistors are activated. The Port A pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port B (PB7..PB0)	<p>Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.</p> <p>Port B also serves the functions of various special features of the ATmega32 as listed on page 57.</p>
Port C (PC7..PC0)	<p>Port C is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port C output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running. If the JTAG Interface is enabled, the pull-up resistors on pins PC5(TDI), PC3(TMS) and PC2(TCK) will be activated even if a reset occurs.</p> <p>The TDO pin is tri-stated unless TAP states that shift out data are entered.</p> <p>Port C also serves the functions of the JTAG Interface and other special features of the ATmega32 as listed on page 60.</p>
Port D (PD7..PD0)	<p>Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.</p> <p>Port D also serves the functions of various special features of the ATmega32 as listed on page 62.</p>
<u>RESET</u>	<p>Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 15 on page 37. Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.</p>
XTAL1	Input to the Inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.
XTAL2	Output from the Inverting Oscillator amplifier.
AVCC	AVCC is the supply voltage pin for Port A and the A/D Converter. It should be externally connected to V_{CC} , even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter.
AREF	AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.

• Datasheet Thermocouple

MAXIMUM TEMPERATURE RANGE

Thermocouple Grade

- 328 to 2282°F

- 200 to 1250°C

Extension Grade

32 to 392°F

0 to 200°C

LIMITS OF ERROR

(whichever is greater)

Standard: 2.2°C or 0.75% Above 0°C

2.2°C or 2.0% Below 0°C

Special: 1.1°C or 0.4%

COMMENTS, BARE WIRE ENVIRONMENT:

Clean Oxidizing and Inert; Limited Use in

Vacuum or Reducing; Wide Temperature

Range; Most Popular Calibration

TEMPERATURE IN DEGREES °C

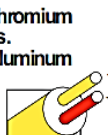
REFERENCE JUNCTION AT 0°C



Nickel-Chromium
vs.
Nickel-Aluminum

Extension
Grade

Thermocouple
Grade



Revised Thermocouple Reference Tables

TYPE
K
Reference
Tables
N.I.S.T.
Monograph 175
Revised to
ITS-90

Z

Thermoelectric Voltage in Millivolts

	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C	
												200	1013	1014	10235	10276	10316	10367	10398	10438	10480	10520	10561	200
												200	10561	10602	10642	10682	10722	10762	10802	10842	10882	10922	200	
												200	10923	11011	11022	11033	11044	11055	11066	11077	11088	11099	200	
												200	11362	11423	11465	11506	11546	11586	11626	11667	11712	11752	200	
												200	11758	11806	11857	11907	11960	12012	12043	12084	12126	12167	200	
												300	12209	12220	12291	12333	12374	12415	12457	12499	12542	12585	300	
												300	12824	12827	12907	12948	12990	13031	13072	13113	13154	13195	300	
												300	13447	13465	13540	13578	13620	13661	13702	13743	13784	13825	300	
												340	13873	13918	13995	14040	14082	14124	14167	14209	14251	14293	340	
												340	14284	14325	14397	14449	14491	14533	14575	14617	14659	14701	340	
												300	14733	14755	14797	14839	14881	14923	14965	15007	15049	15091	300	
												300	15133	15175	15217	15259	15301	15343	15385	15427	15469	15511	300	
												340	15583	15625	15667	15709	15751	15793	15835	15877	15919	15961	340	
												340	15977	16017	16059	16101	16144	16186	16228	16270	16312	16354	340	
												400	16397	16438	16482	16524	16565	16606	16647	16689	16730	16772	400	
												400	16820	16862	16904	16947	16989	17031	17074	17116	17158	17200	400	
												400	17243	17285	17328	17370	17413	17455	17497	17540	17582	17624	400	
												400	17667	17709	17752	17794	17837	17879	17921	17964	18006	18049	400	
												400	18091	18134	18176	18218	18261	18303	18346	18389	18431	18473	400	
												500	18516	18558	18601	18643	18686	18728	18771	18813	18856	18898	500	
												500	18919	18961	19003	19045	19087	19129	19171	19213	19255	19297	500	
												500	19322	19364	19406	19448	19490	19532	19574	19616	19658	19699	500	
												500	19725	19767	19809	19850	19892	19933	19975	20016	20058	20099	500	
												600	20184	20226	20267	20308	20349	20390	20431	20474	20516	20557	600	
												600	20658	20699	20739	20779	20819	20859	20899	20939	20979	21019	600	
												600	21193	21233	21273	21313	21353	21393	21433	21473	21513	21553	600	
												600	21698	21738	21778	21818	21858	21898	21938	21978	22018	22058	600	
												600	22204	22244	22284	22324	22364	22404	22444	22484	22524	22564	600	
												600	22659	22699	22739	22779	22819	22859	22899	22939	22979	23019	600	
												600	23124	23164	23204	23244	23284	23324	23364	23404	23444	23484	600	
												600	23589	23629	23669	23709	23749	23789	23829	23869	23909	23949	600	
												600	24014	24054	24094	24134	24174	24214	24254	24294	24334	24374	600	
												600	24439	24479	24519	24559	24599	24639	24679	24719	24759	24799	600	
												600	24864	24904	24944	24984	25024	25064	25104	25144	25184	25224	600	
												600	25249	25289	25329	25369	25409	25449	25489	25529	25569	25609	600	
												600	25674	25714	25754	25794	25834	25874	25914	25954	25994	26034	600	
												600	26059	26099	26139	26179	26219	26259	26299	26339	26379	26419	600	
												600	26444	26484	26524	26564	26604	26644	26684	26724	26764	26804	600	
												600	26829	26869	26909	26949	26989	27029	27069	27109	27149	27189	600	
												600	27204	27244	27284	27324	27364	27404	27444	27484	27524	27564	600	
												600	27589	27629	27669	27709	27749	27789	27829	27869	27909	27949	600	
												600	27974	28014	28054	28094	28134	28174	28214	28254	28294	28334	600	
												600	28359	28399	28439	28479	28519	28559	28599	28639	28679	28719	600	
												600	28744	28784	28824	28864	28904	28944	28984	29024	29064	29104	600	
												600	29129	29169	29209	29249	29289	29329	29369	29409	29449	29489	600	
												600	29514	29554	29594	29634	29674	29714	29754	29794	29834	29874	600	
												600	29899	29939	29979	30019	30059	30099	30139	30179	30219	30259	600	
												600	30284	30324	30364	30404	30444	30484	30524	30564	30604	30644	600	
												600	30669	30709	30749	30789	30829	30869	30909	30949	30989	31029	600	
												600	31054	31094	31134	31174	31214	31254	31294	31334	31374	31414	600	
												600	31439	31479	31519	31559	31599	31639	31679	31719	31759	31799	600	
												600	31824	31864	31904	31944	31984	32024	32064	32104	32144	32184	600	
												600	32209	32249	32289	32329	32369	32409	32449	32489	32529	32569	600	
												600	32584	32624	32664	32704	32744	32784	32824	32864	32904	32944	600	
												600	32969	33009	33049	33089	33129	33169	33209	33249	33289	33329	600	
												600	33354	33394	33434	33474	33514	33554	33594	33634	33674	33714	600	
												600	33739	33779	33819	33859	33899	33939	33979	34019	34059	34099	600	
												600	34124	34164	34204	34244	34284	34324	34364	34404	34444	34484	600	
												600	34509	34549	34589	34629	34669	34709	34749	34789	34829	34869	600	
												600	34894	34934	34974	35014	35054	35094	35134	35174	35214	35254	600	
												600	35279	35319	35359	35399	35439	35479	35519	35559	35599	35639	600	
												600	35664	35704	35744	35784	35824	35864	35904	35944	35984	36024	600	
												600	36049	36089	36129	36169	36209	36249	36289	36329	36369	36409	600	
												600	36434	36474	36514	36554	36594	36634	36674	36714	36754	36794	600	
												600	36819	36859	36899	36939	36979	37019	37059	37099	37139	37179	600	
												600	37194	37234	37274	37314	37354	37394	37434	37474	37514	37554	600	
												600	37579	37619	37659	37699	37739	37779	37819	37859	37899	37939	600	
												600	37964	38004	38044	38084	38124	38164	38204	38244	38284	38324	600	
												600	38349	38389	38429	38469	38509	38549	38589	38629	38669	38709	600	
												600	38734	38774	38814	38854	38894	38934	38974	39014	39054	39094	600	
												600	39119	39159	39199	39239	39279	39319	39359	39399	39439	39479	600	
												600	39504	39544	39584	39624	39664	39704	39744	39784	39824	39864	600	
												600	39889	39929	39969	40009	40049	40089	40129					

• Datasheet MAX6675

EVALUATION KIT AVAILABLE

MAX6675

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

General Description

The MAX6675 performs cold-junction compensation and digitizes the signal from a type-K thermocouple. The data is output in a 12-bit resolution, SPI™-compatible, read-only format.

This converter resolves temperatures to 0.25°C, allows readings as high as +1024°C, and exhibits thermocouple accuracy of 0.5°C for temperatures ranging from 0°C to +700°C.

The MAX6675 is available in a small, 8-pin SMD package.

Applications

- Industrial
- Appliances
- HVAC

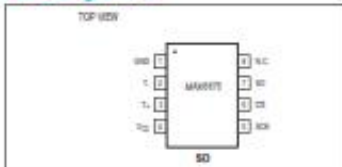
Features

- Direct Digital Conversion of Type-K Thermocouple Output
- Cold-Junction Compensation
- Simple SPI-Compatible Serial Interface
- 12-Bit, 0.25°C Resolution
- Open Thermocouple Detection

Ordering Information

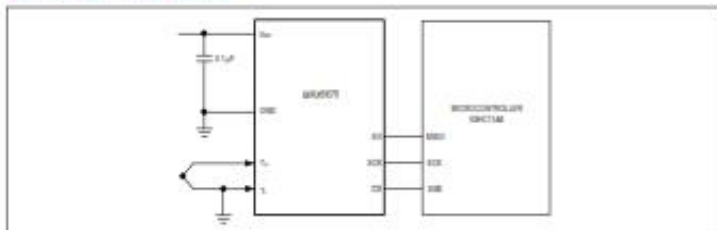
PART	TEMP RANGE	PIN PACKAGE
MAX6675ISA	-25°C to +85°C	8 SMD

Pin Configuration



SPI is a trademark of Motorola, Inc.

Typical Application Circuit



MAX6675**Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)****General Description**

The MAX6675 performs cold-junction compensation and digitizes the signal from a type-K thermocouple. The data is output in a 12-bit resolution, SPI™-compatible, read-only format.

This converter resolves temperatures to 0.25°C, allows readings as high as +1024°C, and exhibits thermocouple accuracy of 0.5°C for temperatures ranging from 0°C to +700°C.

The MAX6675 is available in a small, 8-pin SO package.

Applications

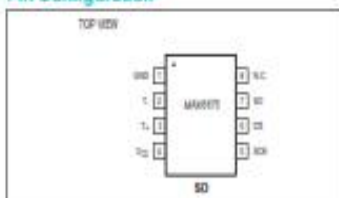
- Industrial
- Appliances
- HVAC

Features

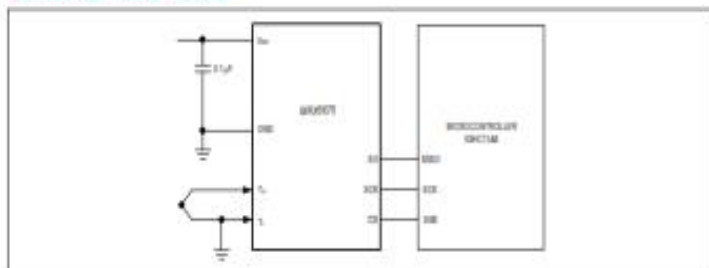
- Direct Digital Conversion of Type -K Thermocouple Output
- Cold-Junction Compensation
- Simple SPI-Compatible Serial Interface
- 12-Bit, 0.25°C Resolution
- Open Thermocouple Detection

Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX6675ISA	-20°C to +85°C	8 SO

Pin Configuration

SPI is a trademark of Motorola, Inc.

Typical Application Circuit

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage (V_{CC} to GND)	-0.3V to +6V	Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
SO, SCK, CS, T-, T+ to GND	-0.3V to V_{CC} + 0.3V	Junction Temperature	+150°C
SO Current	50mA	SO Package	
ESD Protection (Human Body Model)	±2000V	Vapor Phase (90s)	+215°C
Continuous Power Dissipation (T_A = +70°C)		Infrared (15s)	+220°C
8-Pin SO (derate 5.88mW/°C above +70°C)	471mW	Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C
Operating Temperature Range	-20°C to +85°C		

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum-rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Electrical Characteristics

(V_{CC} = +3.0V to +5.5V, T_A = -20°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Temperature Error		THERMOCOUPLE = +700°C, T_A = +25°C (Note 2)	V_{CC} = +3.3V	-5	+5	LSB
			V_{CC} = +5V	-6	+6	
		THERMOCOUPLE = 0°C to +700°C, T_A = +25°C (Note 2)	V_{CC} = +3.3V	-8	+8	
			V_{CC} = +5V	-9	+9	
		THERMOCOUPLE = +700°C to +1000°C, T_A = +25°C (Note 2)	V_{CC} = +3.3V	-17	+17	
			V_{CC} = +5V	-19	+19	
Thermocouple Conversion Constant				10.25		µV/LSB
Cold-Junction Compensation Error		T_A = -20°C to +85°C (Note 2)	V_{CC} = +3.3V	-3.0	+3.0	°C
			V_{CC} = +5V	-3.0	+3.0	
Resolution				0.25		°C
Thermocouple Input Impedance				60		kΩ
Supply Voltage	V_{CC}		3.0		5.5	V
Supply Current	I_{CC}			0.7	1.5	mA
Power-On Reset Threshold		V_{CC} rising	1	2	2.5	V
Power-On Reset Hysteresis				50		mV
Conversion Time		(Note 2)		0.17	0.22	s

SERIAL INTERFACE

Input Low Voltage	V_{IL}			0.3 x V_{CC}		V
Input High Voltage	V_{IH}			0.7 x V_{CC}		V
Input Leakage Current	I_{LEAK}	V_{IN} = GND or V_{CC}		±5		µA
Input Capacitance	C_{IN}			5		pF

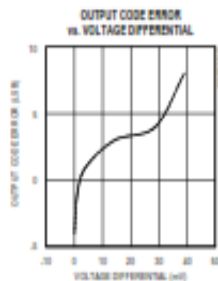
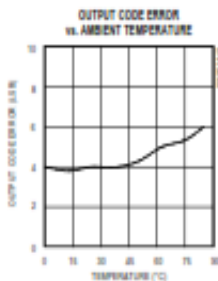
Electrical Characteristics (continued)

(V_{CC} = +3.0V to +5.5V, T_A = -20°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output High Voltage	V _{OH}	I _{SOURCE} = 1.6mA	V _{CC} - 0.4			V
Output Low Voltage	V _{OL}	I _{SINK} = 1.6mA			0.4	V
TIMING						
Serial Clock Frequency	f _{SCL}				4.3	MHz
SCK Pulse High Width	t _{CH}			100		ns
SCK Pulse Low Width	t _{CL}			100		ns
CSB Fall to SCK Rise	t _{CS5}	C _L = 10pF		100		ns
CSB Fall to Output Enable	t _{OV}	C _L = 10pF			100	ns
CSB Rise to Output Disable	t _{HF}	C _L = 10pF			100	ns
SCK Fall to Output Data Valid	t _{PO}	C _L = 10pF			100	ns

Note 1: All specifications are 100% tested at T_A = +25°C. Specification limits over temperature (T_A = T_{MIN} to T_{MAX}) are guaranteed by design and characterization, not production tested.**Note 2:** Guaranteed by design. Not production tested.

Typical Operating Characteristics

(V_{CC} = +3.3V, T_A = +25°C, unless otherwise noted.)

Applications Information

Serial Interface

The *Typical Application Circuit* shows the MAX6675 interfaced with a microcontroller. In this example, the MAX6675 processes the reading from the thermocouple and transmits the data through a serial interface. Force \overline{CS} low and apply a clock signal at SCK to read the results at SO. Forcing \overline{CS} low immediately stops any conversion process. Initiate a new conversion process by forcing \overline{CS} high.

Force \overline{CS} low to output the first bit on the SO pin. A complete serial interface read requires 16 clock cycles. Read the 16 output bits on the falling edge of the clock. The first bit, D15, is a dummy sign bit and is always zero. Bits D14–D3 contain the converted temperature in the order of MSB to LSB. Bit D2 is normally low and goes high when the thermocouple input is open. D1 is low to provide a device ID for the MAX6675 and bit D0 is three-state.

Figure 1a is the serial interface protocol and Figure 1b shows the serial interface timing. Figure 2 is the SO output.

Open Thermocouple

Bit D2 is normally low and goes high if the thermocouple input is open. In order to allow the operation of the open thermocouple detector, T₋ must be grounded. Make the ground connection as close to the GND pin as possible.

Noise Considerations

The accuracy of the MAX6675 is susceptible to power-supply coupled noise. The effects of power-supply noise can be minimized by placing a 0.1µF ceramic bypass capacitor close to the supply pin of the device.

Thermal Considerations

Self-heating degrades the temperature measurement accuracy of the MAX6675 in some applications. The magnitude of the temperature errors depends on the thermal conductivity of the MAX6675 package, the

mounting technique, and the effects of airflow. Use a large ground plane to improve the temperature measurement accuracy of the MAX6675.

The accuracy of a thermocouple system can also be improved by following these precautions:

- Use the largest wire possible that does not shunt heat away from the measurement area.
- If small wire is required, use it only in the region of the measurement and use extension wire for the region with no temperature gradient.
- Avoid mechanical stress and vibration, which could strain the wires.
- When using long thermocouple wires, use a twisted-pair extension wire.
- Avoid steep temperature gradients.
- Try to use the thermocouple wire well within its temperature rating.
- Use the proper sheathing material in hostile environments to protect the thermocouple wire.
- Use extension wire only at low temperatures and only in regions of small gradients.
- Keep an event log and a continuous record of thermocouple resistance.

Reducing Effects of Pick-Up Noise

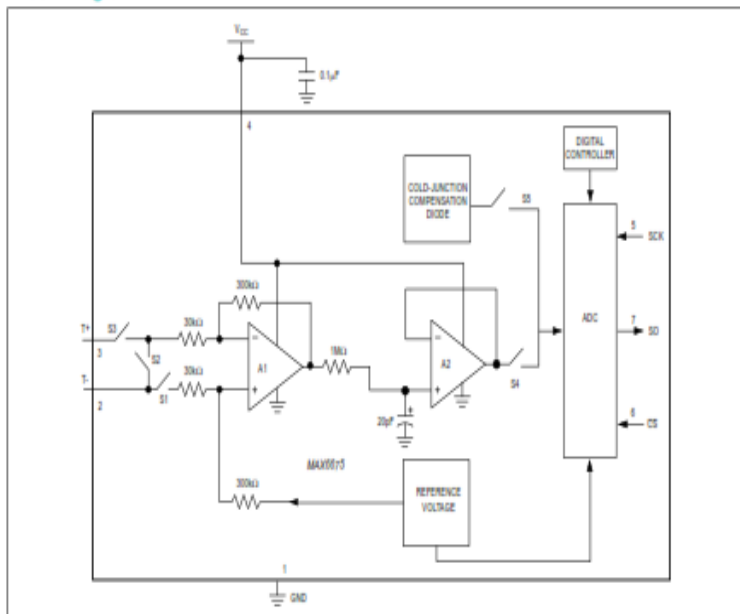
The input amplifier (A1) is a low-noise amplifier designed to enable high-precision input sensing. Keep the thermocouple and connecting wires away from electrical noise sources.

Chip Information

TRANSISTOR COUNT: 6720

PROCESS: BICMOS

Block Diagram



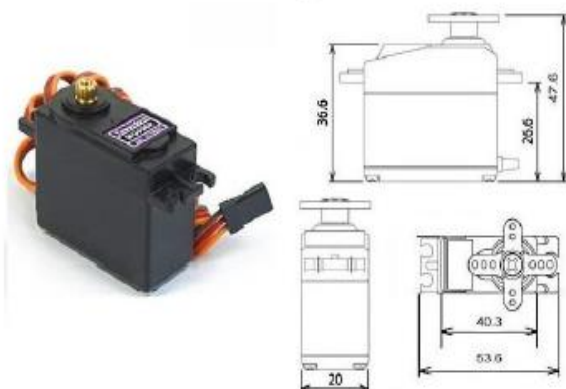
Package Information

For the latest package outline information and land patterns (footprints), go to www.maximintegrated.com/packages. Note that a "+", "#", or "-" in the package code indicates RoHS status only. Package drawings may show a different suffix character, but the drawing pertains to the package regardless of RoHS status.

PACKAGE TYPE	PACKAGE CODE	OUTLINE NO.	LAND PATTERN NO.
8 SO	SS+2	21-0041	90-0096

• Datasheet MG99R

MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo



This High-Torque MG996R Digital Servo features metal gearing resulting in extra high 10kg stalling torque in a tiny package. The MG996R is essentially an upgraded version of the famous MG995 servo, and features upgraded shock-proofing and a redesigned PCB and IC control system that make it much more accurate than its predecessor. The gearing and motor have also been upgraded to improve dead bandwith and centering. The unit comes complete with 30cm wire and 3 pin 'S' type female header connector that fits most receivers, including Futaba, JR, GWS, Cirrus, Blue Bird, Blue Arrow, Corona, Berg, Spektrum and Hitec.

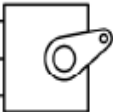
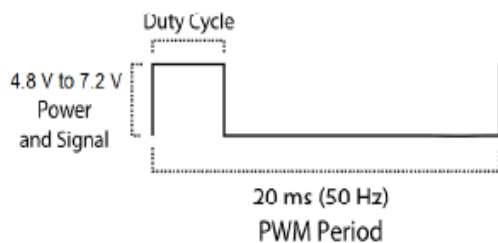
This high-torque standard servo can rotate approximately 120 degrees (60 in each direction). You can use any servo code, hardware or library to control these servos, so it's great for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. The MG996R Metal Gear Servo also comes with a selection of arms and hardware to get you set up nice and fast!

Specifications

- Weight: 55 g
- Dimension: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm approx.
- Stall torque: 9.4 kgf-cm (4.8 V), 11 kgf-cm (6 V)
- Operating speed: 0.17 s/60° (4.8 V), 0.14 s/60° (6 V)

- Operating voltage: 4.8 V a 7.2 V
- Running Current 500 mA – 900 mA (6V)
- Stall Current 2.5 A (6V)
- Dead band width: 5 μ s
- Stable and shock proof double ball bearing design
- Temperature range: 0 $^{\circ}$ C – 55 $^{\circ}$ C

PWM=Orange ($\square\square\square$)
 Vcc = Red (+)
 Ground=Brown (-)

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di kota Sidikalang, 28 Januari 1996 dengan nama Aloys Yantri Martina sebagai anak ketiga dari empat bersaudara dari ayah bernama Albertus Suwoko dan ibu bernama Asrina Saragih. Riwayat pendidikan penulis adalah TK Santa Maria Sidikalang (2000-2002), SD Santo Yosef Sidikalang (2002-2008), SMP Santo Paulus Sidikalang (2008-2011) SMAK Yos Sudarso Kepanjen Malang (2011-2014). Penulis diterima sebagai mahasiswa

D3 Teknik Instrumentasi ITS pada tahun 2014. Untuk menghubungi penulis, dapat melalui via email aloysyantrimartina@gmail.com.

Motto hidup: *Life is like riding a bicycle. To keep your balance, you must keep moving.*